

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

LETÍCIA RABELO

**ESTUDOS PRELIMINARES PARA IMPLANTAÇÃO DA FILTRAÇÃO
EM MARGEM NA LAGOA DO PERI COMO PRÉ-TRATAMENTO DE
ÁGUA PARA REMOÇÃO DE FITOPLÂNCTON**

Dissertação de Mestrado

Florianópolis, 2006.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**ESTUDOS PRELIMINARES PARA IMPLANTAÇÃO DA FILTRAÇÃO
EM MARGEM NA LAGOA DO PERI DE PRÉ-TRATAMENTO DE
ÁGUA PARA REMOÇÃO DE FITOPLÂNCTON**

LETÍCIA RABELO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Luiz Sens
Coorientador: Dr. Ramon Lucas Dalsasso

Florianópolis, 2006.

**“ESTUDOS PRELIMINARES PARA IMPLANTAÇÃO DA
FILTRAÇÃO EM MARGEM NA LAGOA DO PERI DE PRÉ-
TRATAMENTO DE ÁGUA PARA REMOÇÃO DE FITOPLÂNCTON”**

LETÍCIA RABELO

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

Aprovada por:

Antônio Edésio Jungles, Dr.

Heike Hoffmann, Dra.

Paulo Belli Filho, Dr.

Ramon Lucas Dalsasso, Dr.
(Coorientador)

Maurício Luiz Sens, Dr.
(Orientador)

Henry Xavier Corseuil, Dr.
(Coordenador do PPGEA)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) e a todos os professores com os quais tive contato e contribuíram para meu aprendizado.

Ao professor Dr. Maurício Luíz Sens pela orientação do trabalho.

Ao professor Dr. Ramon Lucas Dalsasso pela coorientação, acompanhamento, ajuda, orientação e preocupação com o bom desenvolvimento deste trabalho em todas as etapas.

À CASAN, e a ETA da Lagoa do Peri e todos seus funcionários.

À engenheira Vera dos Santos pelo acompanhamento e apoio durante a realização deste trabalho.

Aos amigos do Lapoa: Clarissa, Helô, Zaca, Marcelo, Renata, Deverson e Luiz, pela amizade durante todo o mestrado.

Ao Laboratório de Toxicologia Ambiental, em especial à Cátia pela amizade e realização da contagem de fitoplânctons.

A Heike Hoffmann pela realização da microscopia do sedimento e constante preocupação e ajuda com o decorrer do trabalho de filtração em margens.

Ao Alê, que me ajudou com o Statistica.

À CAPES pela bolsa que me concedeu.

Ao PROSAB pelo financiamento do projeto “Filtmargem”.

Um agradecimento super especial a toda minha família e aos amigos que sempre estiveram presentes dando todo o apoio e um pouco de distração. E por último, e o mais importante, à Deus por me permitir realizar e aprender muitas coisas.

ÁGUA, FONTE DE VIDA

Bendito seiais, ó Deus Criador, pela água, criatura vossa,
Fonte de vida para a Terra e os seres que a povoam.
Bendito seiais, ó Pai Providente, pelos rios e mares imensos,
Pela bênção das chuvas, pelas fontes refrescantes
E pelas águas secretas do seio da terra.

Bendito seiais, ó Deus Salvador, pela água feita vinho em Cana,
Pela Bacia do lava-pés e pela fonte regeneradora do Batismo.

Perdoai-nos, Senhor Misericordioso,
Pela contaminação das águas, pelo desperdício e pelo egoísmo
Que privam os irmãos desse bem tão necessário à vida.

Dai-nos, ó Espírito de Deus, um coração fraterno e solidário,
Para usarmos a água com sabedoria e prudência
E para não deixar que ela falte a nenhuma de vossas criaturas.

Ó Cristo, Vós que também tivestes sede,
Ensinai-nos a dar de beber a quem tem sede.
E concedei-nos com fartura a água viva
Que brota de Vosso coração e jorra para a vida eterna.

Amém.

ORAÇÃO DA CAMPANHA DA FRATERNIDADE 2004

*Water is H₂O
Hydrogen two parts
Oxygen one
But there is also a third thing
That makes it water
And nobody knows what that is
(Pansies, 1929)*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS.....	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1	ASPECTOS GERAIS DA LAGOA DO PERI	19
3.2	QUALIDADE DAS ÁGUAS DA LAGOA DO PERI.....	20
3.3	FITOPLÂNTON E SUA INFLUÊNCIA SOBRE A QUALIDADE E TRATAMENTO DA ÁGUA	23
3.4	CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS	26
3.4.1	A espécie <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	30
3.4.2	Saxitoxinas	32
3.5	SUCINTA DESCRIÇÃO DOS SEDIMENTOS DA LAGOA DO PERI.....	33
3.6	MÉTODOS DE TRATAMENTO E PRÉ-TRATAMENTO ESTUDADOS NA LAGOA DO PERI.....	33
3.7	FILTRAÇÃO EM MARGEM.....	36
3.7.1	Vantagens da Filtração em Margem	37
3.7.2	Problemas da Filtração em Margem	39
3.7.3	Técnica da Filtração em Margem	40
3.7.4	Recarga Artificial de Águas Subterrâneas e Filtração em Margem na Alemanha	42
3.7.5	Taxas de Infiltração e Condutividade hidráulica	44
3.7.6	Colmatação do solo	49
3.7.7	Simulação da filtração em margem através de testes de laboratório em colunas.....	50
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
4.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	54
4.2	ENSAIO DE INFILTRAÇÃO IN LOCO (1º ETAPA) EM SOLO SATURADO DO CANAL	55
4.2.1	Localização.....	55
4.2.2	Descrição do ensaio	56
4.2.3	Qualidade da água	58
4.3	ENSAIOS EM COLUNAS FILTRANTES PREENCHIDAS COM SEDIMENTO (SOLO NATURAL) DA LAGOA (2º ETAPA)	59
4.3.1	Coleta de amostras de solo	59
4.3.2	Piloto de filtração em colunas.....	61
4.3.3	Qualidade da água antes e após a passagem pelas colunas de solo	66
4.3.4	Parâmetros hidráulicos de acompanhamento das colunas	67
4.4	ENSAIOS DE PERMEABILIDADE EM PERMEÂMETRO DE NÍVEL CONSTANTE (3º ETAPA).....	67
4.5	ANÁLISE DE MATÉRIA ORGÂNICA E MICROSCOPIA DAS COLUNAS DE SEDIMENTO E COMPARAÇÃO COM O SEDIMENTO DAS MARGENS DA LAGOA (4º ETAPA)	68
4.6	SONDAGEM DA ÁREA DE IMPLEMENTAÇÃO DOS POÇOS (MARGENS DA LAGOA DO PERI) (5º ETAPA).....	70
4.7	IMPLEMENTAÇÃO DE PIEZÔMETROS E POÇOS (6º ETAPA)	70
4.8	MEDIÇÃO DO NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO DA LAGOA DO PERI E VERIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO (7º ETAPA).....	72

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	74
5.1	ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO IN LOCO	74
5.1.1	Análises da Água Bruta coletada no período do ensaio.....	77
5.2	ENSAIOS DE FILTRAÇÃO EM COLUNAS DE SEDIMENTOS	78
5.2.1	Perda de carga e taxa de filtração	79
5.2.2	Estimativa do coeficiente de permeabilidade das amostras de solo (Kp)	88
5.2.3	Ensaio de Permeabilidade.....	89
5.3	ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA ANTES E APÓS A PASSAGEM PELAS COLUNAS	90
5.3.1	Parâmetros físico-químicos	90
5.3.2	Parâmetros biológicos.....	94
5.4	ANÁLISES DO SEDIMENTO DAS COLUNAS.....	98
5.4.1	Matéria Orgânica	98
5.4.2	Microscopia	99
5.4.3	Sondagem da área de implantação dos poços.....	102
5.4.4	Implementação de piezômetros e poços	104
5.4.5	Medição do nível do lençol freático da Lagoa do Peri e verificação do escoamento	107
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	109
7	REFERÊNCIAS	112
	APÊNDICES.....	118
	ANEXOS.....	145

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Características da água bruta da Lagoa do Peri durante o período de monitoramento (março/2001a março/ 2003).....	22
Tabela 3.2 Valores da Filtração em Margem.....	38
Tabela 3.3 Valores típicos para a condutividade hidráulica de diversos tipos de solo.....	48
Tabela 3.4 Condições operacionais de alguns autores.....	53
Tabela 4.1 Parâmetros de qualidade e métodos analíticos utilizados.....	58
Tabela 4.2 Teste inicial para regulagem das taxas de filtração.....	65
Tabela 4.3 Regulagem da taxa de filtração.....	65
Tabela 4.4 Análises e medidas com seus métodos e equipamentos utilizados.....	66
Tabela 4.5 Parâmetros físicos de acompanhamento das colunas.....	67
Tabela 5.1 Ensaio de infiltração <i>in loco</i> – Margem esquerda do canal.....	75
Tabela 5.2 Ensaio de infiltração <i>in loco</i> – Margem direita do canal.....	75
Tabela 5.3 Parâmetros da água bruta obtidos no mês de abril de 2004.....	77
Tabela 5.4 Taxas de infiltração iniciais e finais nos três ensaios.....	78
Tabela 5.5 Estimativa do Kp do sedimento das margens e das colunas 1 e 3 no primeiro ensaio.....	89
Tabela 5.6 Análise da clorofila <i>a</i>	95
Tabela 5.7 Concentração da clorofila <i>a</i> na água bruta e nas colunas no período de agosto a dezembro.....	95
Tabela 5.8 Porcentagem de matéria orgânica do sedimento.....	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Localização geográfica da Lagoa do Peri, Florianópolis.....	19
Figura 3.2 Localização da captação da ETA da CASAN na Lagoa do Peri.....	20
Figura 3.3 Comportamento das cianobactérias e do fitoplâncton total na água bruta da Lagoa do Peri no período de monitoramento.....	23
Figura 3.4 Observação microscópica da espécie <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	31
Figura 3.5 Esquema de filtração em margem.....	41
Figura 3.6 Desenho esquemático da condutividade hidráulica vertical.....	45
Figura 4.1 Esquema de locação dos pontos de infiltração.....	56
Figura 4.2 Esquema de instalação do tubo para o ensaio de infiltração.....	57
Figura 4.3 Foto do tubo utilizado.....	57
Figura 4.4 Foto da amostra coletada.....	59
Figura 4.5 Foto do solo moldado.....	59
Figura 4.6 Foto do anel transportador.....	60
Figura 4.7 Desenho esquemático do piloto de filtração.....	61
Figura 4.8 Esquema das colunas filtrantes.....	62
Figura 4.9 Foto mostrando as colunas e piezômetros.....	63
Figura 4.10 Foto vista superior do piloto.....	64
Figura 4.11 Foto da câmara de conexão.....	64
Figura 4.12 Foto das réguas graduadas.....	64
Figura 4.13 Permeâmetro Wille Geotechnik D1702.....	68
Figura 4.14 Retirada do sedimento das colunas.....	69
Figura 4.15 Localização do campo experimental.....	71
Figura 4.16 Medidor do nível do lençol freático.....	72
Figura 4.17 Foto da medição do nível do lençol freático da Lagoa do Peri.....	72
Figura 5.1 Taxas de infiltração na margem esquerda do canal.....	76
Figura 5.2 Taxas de infiltração na margem direita do canal.....	76
Figura 5.3 Desenho esquemático da coluna de filtração com seus piezômetros.....	79
Figura 5.4 Evolução da perda de carga por trecho da coluna 2 durante o primeiro ensaio para uma taxa de filtração inicial de $1,83 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$	81
Figura 5.5 Evolução da perda de carga por trecho da coluna 4 durante o segundo ensaio para uma taxa de filtração inicial de $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$	81
Figura 5.6 Evolução da perda de carga para todos os trechos da coluna 2 durante o terceiro ensaio para uma taxa de filtração inicial de $6,51 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$	82
Figura 5.7 Evolução da perda de carga no trecho 1-2 para todas as colunas no segundo ensaio.....	83

Figura 5.8 Evolução da perda de carga no trecho 1-2 para todas as colunas no terceiro ensaio.....	84
Figura 5.9 Evolução da perda de carga no trecho 3-4 para todas as colunas no terceiro ensaio.....	85
Figura 5.10 Evolução da perda de carga em função da taxa de filtração para a coluna 1 no primeiro ensaio, com carga hidráulica de 5,5 cm.....	86
Figura 5.11 Evolução da perda de carga em função da taxa de filtração para a coluna 2 no segundo ensaio com carga hidráulica de 16,5 cm.....	86
Figura 5.12 Evolução da perda de carga em função da taxa de filtração para a coluna 2 no terceiro ensaio com carga hidráulica de 66,5 cm.....	87
Figura 5.13 Taxa (m/d) em todas as colunas com uma carga hidráulica média de 70 cm aplicada de julho a dezembro de 2005.....	88
Figura 5.14 Valores de pH antes e após passagem pelas colunas.....	90
Figura 5.15 Valores de cor aparente antes e após a passagem da água pelas colunas C1C2.....	91
Figura 5.16 Valores de cor aparente antes e após passagem da água pelas colunas C3C4.....	91
Figura 5.17 Média dos valores de Cor Aparente (uH) encontrados nos meses de julho a dezembro de 2004.....	92
Figura 5.18 Valores de turbidez antes e após a passagem da água pelas colunas C1C2.....	93
Figura 5.19 Valores de turbidez antes e após a passagem da água pelas colunas C3C4.....	93
Figura 5.20 Média dos valores de Turbidez (uT) encontrados nos meses de julho a dezembro de 2004.....	94
Figura 5.21 Média da remoção de clorofila <i>a</i> do período de 04/08/2004 à 08/12/2004.....	96
Figura 5.22 Média da remoção de fitoplâncton do período de agosto a dezembro de 2004.....	97
Figura 5.23 Média da remoção de cianobactérias do período de agosto a dezembro de 2004.....	98
Figura 5.24 Fotos da coluna 1, de 0-2 cm.....	99
Figura 5.25 Fotos da coluna 1, de 2-5 cm.....	100
Figura 5.26 Fotos da coluna 1, de 20-30 cm.....	100
Figura 5.27 Fotos da coluna 3, de 0-2 cm.....	101
Figura 5.28 Fotos da coluna 3, de 2-5 cm.....	101
Figura 5.29 Fotos da coluna 3, de 20-30cm.....	101
Figura 5.30 Sedimento da margem direita.....	102
Figura 5.31 Sedimento da margem esquerda.....	102
Figura 5.32 Perfil Estratigráfico dos Poços Piezométricos 2 e 9.....	103
Figura 5.33 Localização dos pontos de medida de nível do lençol freático da Lagoa do Peri.....	104
Figura 5.34 Localização do poço principal e poços de controle.....	105
Figura 5.35 Esquema de locação dos poços em relação à lagoa.....	106
Figura 5.36 Localização dos pontos de medida de nível do lençol freático da Lagoa do Peri.....	107

RESUMO

O manancial Lagoa do Peri é utilizado no abastecimento de água potável no sul e costa leste da ilha de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina. A ETA-Lagoa do Peri, que emprega a tecnologia de filtração direta descendente no processo de potabilização da água, apresenta problemas devido à alta concentração de algas presentes na lagoa, as quais colmatam os filtros, aumentando o consumo de água tratada utilizada para a lavagem dos mesmos e interferindo no tempo das carreiras de filtração. O Laboratório de Potabilização de Águas (LAPOÁ) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) propôs um novo método de pré-tratamento da água da Lagoa do Peri, denominado Filtração em Margem (Bankfiltration), de forma a eliminar as algas para posterior tratamento na ETA da Lagoa do Peri. Esse método utiliza poços localizados próximos às margens de um rio ou um lago, sendo que a água chega nos poços por infiltração nos vazios do solo. A extração da mesma via filtração em margem, onde adequadas condições hidrogeológicas ocorrem naturalmente, pode ser uma forma efetiva de tratamento de água. O fluxo hídrico através da passagem subterrânea pode melhorar consideravelmente a qualidade desse recurso, particularmente sua turbidez. Essa melhora da qualidade da água ocorre devido a fatores físicos, químicos e biológicos na passagem da água pelo subsolo, removendo impurezas. Este trabalho teve o objetivo de realizar estudos preliminares para a implantação do método de filtração em margem na Lagoa do Peri. As investigações experimentais foram conduzidas nas seguintes etapas: ensaios de infiltração *in loco* nos sedimentos do fundo das margens da lagoa e verificação de alguns parâmetros de qualidade da água bruta; ensaios em colunas filtrantes preenchidas com sedimento (solo natural) da lagoa e análises da qualidade da água antes e após a passagem pelas colunas de solo; ensaios de permeabilidade em Permeâmetro de Nível Constante; análise do sedimento retirado das colunas após seis meses de experimento (porcentagem de matéria orgânica e microscopia) e comparação com o sedimento da lagoa; sondagem da área de implementação dos poços (margens da Lagoa do Peri); implementação de piezômetros e poços e medição do nível do lençol freático da Lagoa do Peri e verificação do escoamento. Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram que o método de filtração em colunas é um excelente método de comparação com a filtração em margem, principalmente na remoção de turbidez, que foi de até 84,9%; cor aparente, que foi de até 72,2%; clorofila *a*, que foi de até 63,3 %; fitoplâncton, que foi de até 98,9%; e cianobactérias, que foi de até 99,2%. Outros estudos preliminares, citados acima, também foram de grande importância para a implantação do método de filtração em margem, pois mostraram a viabilidade e a potencialidade da área para implantação desse método de pré-tratamento.

Palavras-chaves: Filtração em colunas, Filtração em margem, Lagoa do Peri.

ABSTRACT

The water source Lagoa do Peri (Peri Lagoon) has been used as the potable water supply of the south and east coast of the island of Florianópolis, capital of the state of Santa Catarina. The water treatment station of Lagoa do Peri, that uses the technology of descending direct filtration as the process of water potabilization, presents problems due to the high concentration of algae in the lagoon that stuffs-up the filters, increasing the consumption of treated water used to wash these filters and interfering in the run time. The Laboratory of Water Potabilization (LAPOA) of the Department of Sanitary and Environmental Engineering of the Federal University of Santa Catarina (UFSC) has proposed a new pre-treatment method of the lagoon water, denominated bankfiltration, to eliminate the algae for subsequent treatment in the Water Treatment System of the lagoon. This method uses wells next to the banks of a river or a lake, being that water enters the wells by infiltration through the pores of the soil. The extraction of water through bank filtration where appropriate hydrogeological conditions happens naturally, can be an effective form of water treatment. The water flows through the underpass can considerably improve the water quality, particularly its turbidity. This improvement of the water quality happens due to physical, chemical and biological factors in the underground passage of the water, removing impurities. The aim of this work was to develop preliminary studies to implant the bankfiltration method. The experimental investigations were held in the following stages: Local sediment infiltration tests on the bottom of the bank of the lagoon and verification of some quality parameters of the crude water; Tests of filtrant column filled up with sediment (natural soil) of the lagoon and analyses of the water quality before and after the passage through the soil columns; Permeability tests in a Constant Level Permeameter; Analyses of the sediment taken from the columns after six experimental months of (percentage of organic matter and microscopy) and comparison with the lagoon sediment; Survey of the implementation area of the wells (Lagoa do Peri banks); Implementation of piezometers and wells; and Measurement of underground water level and drainage verification. The results obtained through this work demonstrated that the columns filtration method is an excellent comparison of bank filtration, mainly in the removal of the turbidity (84,9%), chlorophyll (63,3%) and phytoplankton (98,9). Other preliminary studies also were of great importance to the implantation of the bank filtration method, because they could verify the viability and the potentiality of the implantation area for this pre-treatment method.

Key-words: Bankfiltration, column filtration, Lagoa do Peri

1 INTRODUÇÃO

O adensamento populacional aliado à ocupação desordenada faz com que o serviço de distribuição de água potável torne-se uma tarefa desafiadora para o poder público nas grandes cidades. Além disso, os problemas no processo de urbanização refletem-se diretamente na qualidade da água dos mananciais que abastecem as cidades.

As fontes de água vêm se tornando cada vez mais poluídas, levando à necessidade de se criar técnicas de tratamento mais sofisticadas e mais criativas para remover poluentes que antigamente não existiam. No início do século, por exemplo, bastava adicionar um pouco de cloro na água retirada dos mananciais para que ela estivesse em condições próprias para consumo humano.

Com o decorrer dos anos, o processo de potabilização da água foi sendo submetido a uma complexa e dispendiosa série de operações como: coagulação/floculação, decantação, filtração e desinfecção com produtos químicos. Atualmente, para se obter uma melhor qualidade desse recurso, em alguns mananciais, são necessárias outras técnicas de tratamento mais modernas, que foram evoluindo e sendo adicionadas ao processo convencional de tratamento, como a oxidação química por ozonização, adsorção em carvão ativado e outras.

Embora existam diversas recomendações de diferentes autores relacionando a qualidade da água bruta com a tecnologia de tratamento que pode ser adotada nas Estações de Tratamento de Água (ETAs). É muito importante o monitoramento da qualidade da água bruta durante o período de elaboração do projeto, bem como ações preventivas que visem à proteção e manutenção das características do manancial a ser explorado, evitando assim o surgimento de problemas futuros.

Entre os principais problemas operacionais que podem afetar direta ou indiretamente um sistema de abastecimento, prejudicando o funcionamento das unidades de uma ETA, rede de distribuição e aumento com custos de

produtos químicos, está a ocorrência de florações de algas no manancial, que dependendo das espécies envolvidas pode comprometer seriamente a qualidade da água produzida, em função da capacidade que esse fitoplâncton tem de produzir toxinas (cianotoxinas), que podem ser liberadas ainda no manancial, ou através da lise celular durante alguns processos de tratamento nas ETAs.

A principal causa do desenvolvimento das algas verde-azuladas (cianobactérias ou algas azuis), organismos prejudiciais à qualidade da água, é a progressiva eutrofização dos mananciais não protegidos. A eutrofização é o processo pelo qual um corpo d'água é enriquecido por nutrientes, o que acelera a produtividade biológica. Na Lagoa do Peri existe um domínio real de cianobactérias, porém há uma divergência de opiniões sobre o fato de esse manancial ser considerado ou não eutrofizado; pois nele, a adaptação das cianobactérias decorre de sua capacidade estratégica de sobrevivência e devido a elevada transparência da água que permite a incidência de luz solar.

O manancial Lagoa do Peri é utilizado no abastecimento de água potável no sul e costa leste da ilha de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina. A ETA (CASAN) - Lagoa do Peri, responsável pelo abastecimento que emprega a tecnologia de filtração direta descendente no processo de potabilização do recurso, apresenta problemas devido à alta concentração de algas presentes na lagoa.

As algas colmatam os filtros, interferindo no tempo das carreiras de filtração, aumentando o consumo de água tratada utilizada para a lavagem dos mesmos, e dificultando a operação de tratamento de lodo. Além da possibilidade das cianobactérias liberarem toxinas.

Segundo a portaria n. 518/2004 do Ministério da Saúde, quando um manancial exceder 20.000 células/mL no ponto de captação, a frequência de análise de cianobactérias deverá ser semanal devido a periculosidade destes microrganismos. Na Lagoa do Peri, em estudos anteriores, realizados por Mondardo, 2004, foram encontrados valores de até mais de 270.000 células/mL e até o momento nenhuma atitude foi tomada, nem mesmo as análises semanais são realizadas pela CASAN.

Devido a esse problema, várias técnicas de pré-tratamento e métodos alternativos de tratamento da água da lagoa foram estudados, tais como: filtração direta descendente com diferentes coagulantes com e sem pré-floculação em diferentes composições de meio filtrante, filtração direta ascendente em areia com diferentes coagulantes, pré-tratamento mecânico com micropeneiras, remoção de algas através de eletroflotação e pré-oxidação com ozônio e cloro.

O Laboratório de Potabilização de Águas (LAPOÁ) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) propôs um novo método de pré-tratamento da água da Lagoa do Peri, denominado Filtração em Margem (Bankfiltration), de forma a eliminar as algas para posterior tratamento na Estação de Tratamento de Água. Esse método utiliza poços localizados próximos às margens de um rio ou de um lago, sendo que a água chega nos poços por infiltração nos vazios do solo.

A implantação deste método na Lagoa do Peri teve o incentivo do PROSAB (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico), onde o grupo de pesquisas da UFSC trabalhou com o intuito de eliminar o fitoplâncton da água da lagoa após a captação, para posterior tratamento.

A extração de água via filtração em margem, onde adequadas condições hidrogeológicas ocorrem naturalmente, pode ser uma forma efetiva de tratamento, sendo que o escoamento através da passagem subterrânea pode melhorar consideravelmente a qualidade do recurso hídrico, particularmente sua turbidez (SCHILLER & DROSTE, 1982 apud DONALD & GRYGASKI, 2002). Essa melhora ocorre devido a fatores físicos, químicos e biológicos na passagem da água pelo subsolo, removendo impurezas.

A filtração em margem é uma técnica importante, efetiva e barata para tratamento de águas superficiais. Ela atua na remoção de microrganismos, de contaminantes inorgânicos e também de alguns contaminantes orgânicos. Infelizmente, os processos físicos, químicos e biológicos de remoção de impurezas não são suficientemente entendidos (HEBERER *et al.*, 2004).

As investigações conduzidas até o momento mostraram que a recarga artificial e filtração em margem geralmente levam a uma eliminação eficiente de

cianobactérias e toxinas dissolvidas através da filtração e biodegradação (CHORUS *et al.*, 2003). Os resultados favoráveis são encontrados em estudos laboratoriais que demonstram o bom desempenho do solo em experimentos com colunas (LATHI *et al.*, 1996, apud CHORUS, 1999).

Segundo Choi e colaboradores (1998), a filtração em margem, utilizando os fluxos naturais das margens de rios, tem sido praticada na Europa por um longo tempo como pré-tratamento em sistemas de tratamento de água e pode ser aplicado em áreas onde a permeabilidade dos solos é bem estabilizada pelo comportamento da formação aluvial.

Este trabalho trata da realização de estudos iniciais para a implantação desse interessante método de pré-tratamento da água na Lagoa do Peri.

Foi realizado inicialmente um estudo sobre a ordem de grandeza da taxa de infiltração inicial no solo do fundo da Lagoa do Peri, próximo às margens. Esses ensaios foram realizados *in loco*. Posteriormente foi operado um piloto de filtração em colunas preenchidas com sedimentos (solo) do fundo das margens da lagoa, onde se avaliou a colmatção a partir de valores de perda de carga, taxa de filtração e alguns parâmetros de qualidade da água pré-tratada. Por último, verificou-se o escoamento do lençol subterrâneo, e implantaram-se poços de filtração em margem.

2 OBJETIVOS

O **objetivo geral** deste trabalho foi realizar estudos preliminares para avaliar a implantação da filtração em margem na Lagoa do Peri como método de pré-tratamento de água para remoção do fitoplâncton.

Os **objetivos específicos** desta pesquisa foram:

- a) Estudar o escoamento das águas subterrâneas no entorno da atual captação da Lagoa do Peri;
- b) Determinar as características hidrogeológicas no entorno da captação da Lagoa do Peri, incluindo: tipo de solo e perfil geotécnico, altura do aquífero e condutividade hidráulica;
- c) Avaliar o tratamento da água da Lagoa do Peri, através da filtração, utilizando como meio filtrante, o solo que constitui o fundo do manancial citado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aspectos gerais da lagoa do peri

A Lagoa do Peri, no início do período quaternário, provavelmente era uma enseada, porém, devido ao processo de sedimentação, seu contato com o mar foi sendo bloqueado, até assumir a geomorfologia atual. A lagoa mantém contato permanente com o mar, através de um canal de despejo (parte do curso do Rio Sangradouro que foi retificado). No entanto, não é afetada pelas oscilações de maré devido a sua altitude ser mais elevada que o nível do mar, comportando-se como uma lagoa suspensa. Isso facilitou a sua dessalinização, juntamente com o recebimento de fluxos fluviais e águas de escoamento superficial provenientes de precipitações pluviais. Assim, tornou-se habitat de espécies de peixes e crustáceos, apresentando condições de potabilidade (POLI *et al.*, 1978 apud GARCIA, 2002).

A bacia hidrográfica da Lagoa do Peri está situada na parte sul da Ilha de Santa Catarina, conforme a Fig. 3.1, com uma área de drenagem de aproximadamente 20,3 Km². A lagoa é alimentada por dois rios: rio Cachoeira Grande e rio Ribeirão Grande (SILVA *et al.*, 1998 apud GARCIA, 2002).



Figura 3.1 Localização geográfica da Lagoa do Peri

Sua área média é de 5,07 Km² e possui um volume aproximado de 21,2 milhões de m³. Sua profundidade média é de 4,18 m para um nível de água

(NA) de 2,14 m, com profundidade máxima de 11m (LAPOLLI *et al.*, 1990 apud GARCIA, 2002).

Em setembro de 2000, o manancial Lagoa do Peri, começou a ser utilizado para abastecimento da região sul e leste da ilha de Santa Catarina, projeto da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), que envolveu a construção de uma barragem de captação (Fig. 3.2) e a elevação do nível da lagoa em cerca de 0,50 m (retornando a lagoa a sua cota natural), prevendo o abastecimento inicial de 50.000 habitantes, com uma vazão de 200 L/s.



Figura 3.2 Localização da captação da ETA da CASAN na Lagoa do Peri.

3.2 Qualidade das águas da lagoa do peri

O manancial de águas da Lagoa do Peri é utilizado para abastecimento de água potável para o sul e costa leste da Ilha de Santa Catarina. A água é tratada em uma Estação de Tratamento de filtração direta descendente, a qual apresenta operacionalmente curtas carreiras de filtração, devido ao grande número de algas presentes, as quais colmatam os filtros da ETA. Talvez, o fato da elevação do nível da água em 0,50 cm na fase de construção da ETA (segundo funcionários da CASAN), pode ter acarretado esse aumento exagerado do fitoplâncton na lagoa. Essa elevação ocorreu pela necessidade de garantia do recurso a ser tratado, porém o contato da água da lagoa com as margens e a vegetação nela encontrada, pode ter favorecido o aparecimento do fitoplâncton, devido ao aumento da oferta de nutrientes nessa ocasião.

Faz-se necessário então um pré-tratamento da água para remoção de algas, sem o rompimento celular das mesmas, para que não sejam liberadas toxinas provenientes de algas cianofíceas presentes.

No trabalho realizado por Mondardo (2004), durante o período de monitoramento do manancial, foram verificados os valores mínimos e máximos dos principais parâmetros de qualidade da água bruta (Tabela 2.1). Para os fitoplânctons totais foi encontrado um valor máximo de 290.971 indivíduos/mL e para as cianobactérias foi encontrado um valor máximo de 270.605. Evidenciando que a quantidade de cianobactérias presentes no fitoplâncton total é maior que 92%. Verifica-se então a necessidade de eliminação desse fitoplâncton devido à possível nocividade dessas cianobactérias, conforme será comentado adiante.

Tabela 3.1 Características da água bruta da Lagoa do Peri durante o período de monitoramento (março/2001 à março/ 2003).

Parâmetro	Valor mínimo	Valor máximo
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	6,2	11,0
Cloretos (mg/L Cl ⁻)	11,4	22,0
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	2,75	41,39
Condutividade (µS/cm)	50	80
Cor aparente (uH)	50	85
Cor verdadeira (uH)	03	10
COT (mg/L)	5,5	7,1
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	6,5	13,6
Fitoplâncton Total (ind./mL)	4.129	290.971
Cianobactérias (ind./mL)	1.855	270.605
Nitrato (mg/L NO ₃ ⁻)	0,017	0,8
Nitrogênio (mg/L NH ₄)	0,01	0,16
Ortofosfato (mg/L PO ₄ ³⁻)	0,02	0,07
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	6,44	9,8
STD (mg/L)	22,0	38,0
pH	6,20	7,14
Temperatura (°C)	23,0	31,0
Trihalometanos (µg/L)	32	52
Turbidez (uT)	3,2	7,8

Fonte: (Modificado de MONDARDO, 2004).

De acordo com análises realizadas durante o período de estudo de Mondardo (2004), o manancial Lagoa do Peri apresentou uma densidade de cianobactérias em certa época superior a 2×10^5 Ind/ mL.

As cianobactérias encontradas no manancial têm comportamento sazonal. Na Fig. 3.3 observa-se o fitoplâncton total e as espécies de cianobactérias encontradas nas amostras durante o monitoramento.

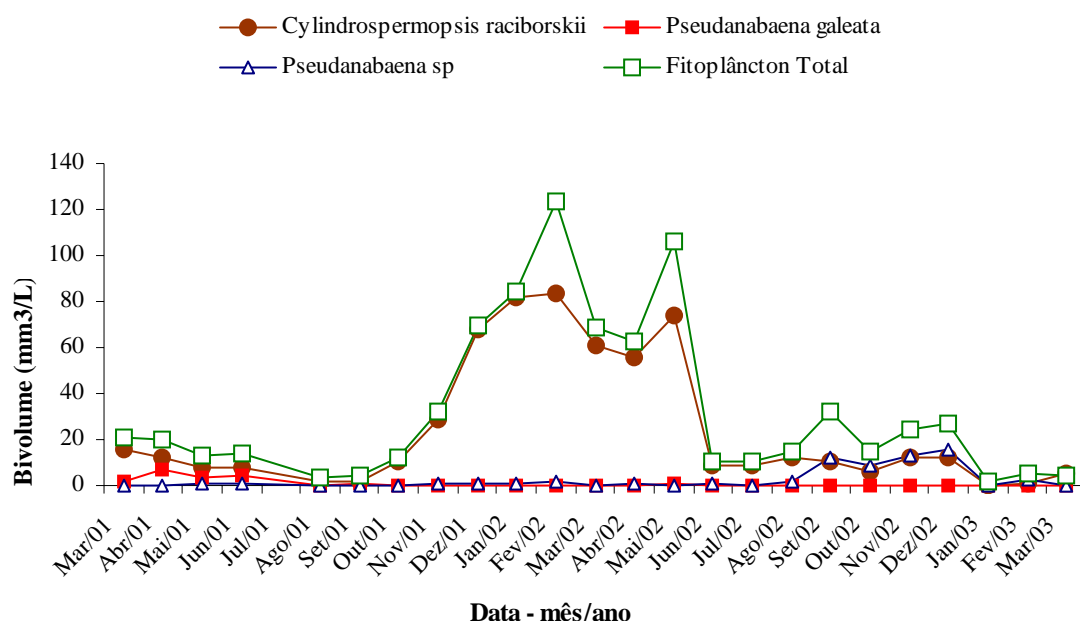


Figura 3.3 Comportamento das cianobactérias e do fitoplâncton total na água bruta da Lagoa do Peri no período de monitoramento

Fonte: (MONDARDO, 2004)

As espécies de maior biovolume encontradas na Lagoa do Peri, segundo a autora, são a *Pseudanabaena sp.* e a *Cylindropermopsis raciborskii*, sendo esta última potencialmente produtora de hepatoxinas. Algumas dessas cianobactérias (algas azuis) produzem produtos metabólicos que conferem sabor e odor à água, e podem ser tóxicos aos seres humanos.

3.3 Fitoplâncton e sua influência sobre a qualidade e tratamento da água

Os microrganismos que flutuam e se movimentam na região superficial dos pântanos, lagos e oceanos são denominados de plâncton. A população do plâncton pode ser de algas e cianobactérias (fitoplâncton) ou pode consistir predominantemente em protozoários e outros seres vivos microscópicos (zooplâncton).

No fitoplâncton os organismos são fotoautotróficos, sendo considerados como o plâncton mais importante porque são produtores primários de matéria-orgânica, por meio da fotossíntese.

Em função das características morfológicas, fisiológicas e ecológicas, o fitoplâncton pode ser classificado em:

- a) Cyanophyta (conhecidas como cianobactérias ou algas azuis)
- b) Cryptophyta
- c) Pyrriphyta (conhecidas como dinofíceas ou dinoflagelados)
- d) Chrysophyta (algas pardo-amarelas), que são divididas em:
 - Crisofíceas
 - Bacilariofíceas (conhecidas como diatomáceas)
 - Xantofíceas (denominadas heterocontas)
- e) Euglenophyta
- f) Chlorophyta

Esses seres dependem de características abióticas (temperatura, luz, oxigênio dissolvido e concentração de nutrientes) e bióticas (predadores, parasitas, competição) para se manterem em equilíbrio no ambiente. Porém, as atividades antrópicas acarretam mudanças significativas nessas características, havendo um desequilíbrio na comunidade planctônica, ou seja, umas poucas espécies se desenvolvem mais que as outras, podendo dar origem ao processo da eutrofização. Segundo Di Bernardo (1995) existem muitas relações diretas e indiretas entre a eutrofização e a operação de sistemas de abastecimento de água.

As florações de algas decorrentes do aumento da concentração de nutrientes em um manancial podem ter os seguintes efeitos diretos na qualidade da água:

- a) Aumento da matéria orgânica particulada (fitoplâncton, zooplâncton, bactérias, protozoários, fungos e detritos);

b) Aumento de substâncias orgânicas dissolvidas que podem conferir odor, cor e sabor à água e serem precursoras de formação de compostos organo-clorados, bem como servir de substrato para o crescimento de bactérias que contribuem para o aumento da corrosão;

c) Aumento do pH e de suas flutuações diárias;

d) Diminuição do teor de oxigênio próximo ao sedimento, podendo ocorrer liberação de sulfeto de hidrogênio, amônia, ferro, manganês, fósforo; causando uma elevada mortalidade das espécies aquáticas;

e) Cianotoxinas presentes no manancial;

Essas alterações de qualidade da água podem apresentar efeitos diretos e indiretos nas ETAs, tais como:

a) Aumento de coagulante e de alcalinizante para ajuste do pH de coagulação;

b) Formação de flocos mais leves, tendo-se que empregar um polímero como auxiliar de floculação para evitar a flotação dos mesmos;

c) Diminuição da eficiência da remoção de flocos na decantação, aumentando conseqüentemente a turbidez ;

d) Obstrução do meio filtrante (colmatação), redução da duração da carreira de filtração e o aumento do consumo de água para lavagem dos filtros;

e) Aumento do consumo de cloro devido à presença de matéria orgânica e amônia, diminuição da eficiência da desinfecção e potencialidade de formação de compostos organoclorados prejudiciais ao homem;

f) Possibilidade do crescimento de bactérias no sistema de distribuição devido ao aumento da matéria orgânica que serve de substrato, ocorrência de odor e sabor, e aumento da deposição de ferro e manganês nas tubulações;

g) Aumento de custos, não somente pelo maior consumo com produtos químicos, mas pela necessidade de monitoramento da

qualidade da água em diversos pontos do sistema de abastecimento, e inclusive do manancial, além da necessidade de tratamentos específicos para remoção de ferro e manganês;

Finalmente, os efeitos nos consumidores estão associados à passagem desses organismos pelo sistema de tratamento, que dependendo das espécies envolvidas apresentam potencial de produção e liberação de cianotoxinas, além da presença de compostos carcinogênicos, o que implica no monitoramento do manancial, que é previsto pela Portaria 518/ MS (abordada no item 3.4).

Embora os diferentes grupos do fitoplâncton possam causar problemas variados à qualidade da água do manancial e à operação das estações de tratamento, são as cianobactérias que representam sérios riscos à saúde do homem, pois mesmo que o tratamento de água utilizando coagulação química possa remover células de cianobactérias eficientemente, a remoção de neurotoxinas e hepatoxinas pode ser ineficiente.

Processos de tratamentos que eliminam as toxinas de cianobactérias são: filtração com carvão ativado, filtração lenta em areia, e ozonização (JACK *et al.*, 2003).

3.4 Cianobactérias e cianotoxinas

Com a descoberta de fósseis de cianobactérias encontrados em rochas sedimentares do noroeste da Austrália, estima-se que a origem desses organismos ocorreu há cerca de 3,5 bilhões de anos (MATTHIENSEN, 2002). Elas são, provavelmente, os primeiros produtores primários de matéria orgânica a liberar oxigênio na atmosfera, estando entre os organismos mais primitivos da Terra.

As cianobactérias ou cianofíceas, também conhecidas popularmente como algas azuis, são microrganismos aeróbicos fotoautotróficos. Seus processos vitais requerem somente água, dióxido de carbono, substâncias inorgânicas e luz. A fotossíntese é seu principal modo de obtenção de energia para o metabolismo. Entretanto, sua organização celular demonstra que esses microrganismos são procariontes (caracterizados pela falta de organelas

envoltas por membranas) e, portanto, muito semelhantes bioquimicamente e estruturalmente às bactérias, e por esse motivo são chamadas de cianobactérias.

A capacidade de crescimento nos mais diferentes meios é uma de suas características marcantes, entretanto, ambientes de água doce são os mais favoráveis para o crescimento de cianobactérias, visto que a maioria das espécies apresenta um melhor crescimento em águas neutro-alcalinas (pH 6-9), temperatura entre 15 a 30° C e alta concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo.

Segundo Matthiensen (2002), algumas espécies de cianobactérias possuem vesículas gasosas, que conferem uma flutuabilidade positiva às células (ou colônias), resultando em grandes concentrações desses organismos na superfície dos corpos d'água, às vezes formando densas espumas sobre lagos e reservatórios. Esses fenômenos são conhecidos como florações “blooms” e são geralmente, encontrados em sistemas de água doce.

Atualmente, sabe-se que alguns gêneros e espécies de cianobactérias que formam florações produzem potentes toxinas e, dentro de uma mesma espécie, podem existir cepas produtoras e não produtoras de toxinas.

A Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Essa portaria descreve as cianobactérias e cianotoxinas da seguinte maneira:

Artigo 4º - X - cianobactérias - microrganismos procarióticos autotróficos, também denominados como cianofíceas (algas azuis), capazes de ocorrer em qualquer manancial superficial especialmente naqueles com elevados níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo), podendo produzir toxinas com efeitos adversos à saúde; e

XI - cianotoxinas - toxinas produzidas por cianobactérias que apresentam efeitos adversos à saúde por

ingestão oral, incluindo: a) microcistinas, b) cilindrospermopsina e c) saxitoxinas.

A produção dessas toxinas é diretamente proporcional ao aumento da biomassa, assim, quando as condições de crescimento de cianobactérias são ótimas, a produção de cianotoxinas é máxima. Quando as condições ambientais são desfavoráveis (esgotamento dos nutrientes, diminuição da temperatura ou da intensidade luminosa), as cianobactérias morrem, proporcionando lise celular e liberação das toxinas ao meio, as quais são capazes de originar efeitos agudos e crônicos no homem, animais e vegetais (Codd, 1999 apud Mondardo, 2004). Segundo Costa e Azevedo (1994 apud Mondardo, 2004) estima-se que mais de 50% das florações de cianobactérias são tóxicas.

Algumas dessas toxinas, que são caracterizadas por sua ação rápida, causando a morte por parada respiratória após poucos minutos de exposição, têm sido identificadas como alcalóides ou organofosforados neurotóxicos e os seus sintomas são: tontura e perda da coordenação motora, podendo ocasionar paralização dos músculos respiratórios. Outras atuam mais lentamente e são identificadas como peptídeos ou alcalóides hepatóxicos e causam sintomas iniciais semelhantes ao de gastroenterite, como diarreia, inflamação do estômago e intestinos e aumento do fígado por hemorragia. Isso pode tornar difícil a sua identificação, mas existe tratamento (Azevedo, 1998 apud Garcia, 2002).

A contaminação pode ocorrer no ser humano por contato direto com água contendo o florescimento de cianobactérias tóxicas, em atividade de recreação através da ingestão, e também pelo consumo de peixes ou outras espécies aquáticas.

Intoxicações de populações humanas pelo consumo oral de água contaminada por cepas tóxicas de cianobactérias já foram descritas em diversos países. No Brasil, Teixeira *et al.* (1993 apud Macêdo, 2004) descrevem, no reservatório de Itaparica (Bahia), entre março e abril de 1988, uma forte evidência de correlação entre a ocorrência de florações de

cianobactérias, e a morte de 88 pessoas, das 200 intoxicadas, pelo consumo de água do reservatório.

No início de 1996, 123 pacientes renais crônicos, após terem sido submetidos a sessões de hemodiálise em uma clínica da cidade de Caruaru (PE), passaram a apresentar um quadro clínico compatível com uma grave hepatotoxicose, que, no entanto, não era correlacionada com nenhum dos fatores usualmente tidos como causadores desse tipo de intoxicação. Desses, 54 vieram a falecer até cinco meses após o início dos sintomas e, de acordo com informações fornecidas pela Secretaria de Saúde de Pernambuco, a referida clínica recebia água sem um tratamento completo e usualmente era feita uma cloração no próprio caminhão tanque utilizado para transportar a mesma, em períodos de falha no abastecimento da rede pública.

Normalmente assume-se que os padrões de purificação de água utilizados nas estações de tratamento são capazes de remover qualquer problema potencial. Entretanto, várias toxinas de cianobactérias, quando em solução, não podem ser retiradas através de um processo clássico de tratamento, sendo, inclusive, resistentes à fervura. Dessa forma, os reservatórios utilizados para abastecimento da população que são sujeitos ao aparecimento de florações de cianobactérias precisam ser cuidadosamente monitorados para evitar todos os riscos potenciais adversos à saúde humana.

As cianotoxinas podem ser classificadas quanto ao modo de ação em 3 grupos: as hepatoxinas, neurotoxinas e as citotoxinas. As neurotoxinas são produzidas por espécies do gênero *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Cylindropermopsis*, *Oscillatoria* e *Trichodesmium*, e as hepatoxinas são produzidas por *Microcystis*, *Anabaena*, *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Nostoc* e *Cylindropermopsis*.

A portaria n. 518 estabelece ainda padrões de análises de cianobactérias e cianotoxinas de acordo com sua quantidade:

Artigo 18º - § 5º Sempre que o número de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, exceder 20.000 células/ml, durante o monitoramento, será exigida a análise semanal de

cianotoxinas na água na saída do tratamento e nas entradas (hidrômetros) das clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis, sendo que essa análise pode ser dispensada quando não houver comprovação de toxicidade na água bruta por meio da realização semanal de bio-ensaios em camundongos.

Artigo 19º - § 1º O monitoramento de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, deve obedecer à frequência mensal, quando o número de cianobactérias não exceder 10.000 células/ml, e semanal, quando o número de cianobactérias exceder esse valor.

§ 2º É vedado o uso de algicidas para o controle do crescimento de cianobactérias ou qualquer intervenção no manancial que provoque a lise das células desses microrganismos, quando a densidade das cianobactérias exceder 20.000 células/ml, sob pena de comprometimento da avaliação de riscos à saúde associados às cianotoxinas.

A espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* é a cianobactéria que aparece em maior quantidade na Lagoa do Peri, por esse motivo essa espécie será mais explorada no item seguinte deste trabalho.

3.4.1 A espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*

A espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* foi encontrada inicialmente em regiões tropicais, e atualmente aparece também em florações em ambientes temperados. Isso demonstra a sua alta capacidade de adaptação e vantagem competitiva, o que possibilitou a sua expansão em diferentes zonas do globo terrestre (PADISÁK, 1997 apud MELO FILHO, no prelo).

No Brasil, estudos recentes em 8 reservatórios mostraram que a *Cylindrospermopsis raciborskii* se constitui numa das mais importantes cianobactérias em relação à dominância em sistemas tropicais eutróficos rasos,

dominando em 5 dos 8 reservatórios investigados (HUSZAR *et al.*, 2000 apud MELO FILHO, no prelo).

A elevada competitividade, a capacidade de formar florações, e ainda a capacidade de produção de toxinas, fazem dessa espécie uma das cianobactérias mais investigadas e estudadas, tanto do ponto de vista ecológico como de saúde pública (MELO FILHO, no prelo).

A espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* pertence ao gênero *Cylindrospermopsis*, a família *Nostocaceae*, à ordem *Nostocales*, à classe *cianofíceas* e à divisão **cianófitas**.

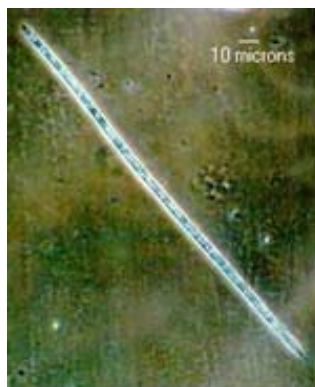


Figura 3.4 Observação microscópica da espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*. (aumento 400x).

Alguns autores (LAUDARES SILVA, 1999; MATTHIENSEN, 2001; MONDARDO, 2004 e MELO FILHO, em fase de publicação) monitoraram a composição fitoplanctônica da Lagoa do Peri durante diferentes ciclos anuais, e todos identificaram a *Cylindrospermopsis raciborskii* como a espécie de cianobactéria mais importante, em função da sua constância e dominância em alguns meses e abundância nos demais. Ela se constitui numa das mais importantes cianobactérias em relação à dominância em sistemas tropicais eutróficos rasos.

A *Cylindrospermopsis raciborskii* pode produzir mais de um tipo de toxina. Entre as toxinas produzidas por essa espécie de cianobactérias estão a Cylindrospermopsina e algumas variantes de Saxitoxinas. Proença e colaboradores (2003 apud MONDARDO, 2004) destacaram a predominância da produção de saxitoxinas em florações na região sul do Brasil.

3.4.2 Saxitoxinas

Saxitoxinas (STXs) é o nome genérico para um grupo de neurotoxinas. As neurotoxinas formam um grupo de alcalóides carbamatos que podem não ser sulfatados (saxitoxinas), podem possuir um grupo sulfato (G-toxinas) ou dois grupos (C-toxinas) (MELO FILHO, em fase de publicação).

As neurotoxinas atuam na transmissão dos impulsos nervosos provocando morte por parada respiratória. As saxitoxinas atuam pela interrupção da comunicação entre os neurônios e as células musculares, através do bloqueio dos canais de sódio (MACÊDO, 2004).

A maioria dos eventos de intoxicações humanas por saxitoxinas esteve associada ao consumo de aproximadamente 200 µg de saxitoxinas por pessoa. Mesmo com essa informação, até o momento, a Organização Mundial de Saúde (OMS) considera que ainda não existem dados suficientes para o estabelecimento de um limite de concentração máximo aceitável para as saxitoxinas em água potável (MELO FILHO, em fase de publicação).

Porém, no Brasil, o padrão de potabilidade das Saxitoxinas foi também definido na Portaria 518.

Artigo 4º - XI - c) **saxitoxinas** - grupo de alcalóides carbamatos neurotóxicos produzido por cianobactérias, não sulfatados (saxitoxinas) ou sulfatados (goniautoxinas e C-toxinas) e derivados decarbamil, apresentando efeitos de inibição da condução nervosa por bloqueio dos canais de sódio.

Artigo 14º - § 1º Recomenda-se que as análises para cianotoxinas incluam a determinação de cilindrospermopsina e **saxitoxinas** (STX), observando, respectivamente, os valores limites de 15,0 µg/L e 3,0 µg/L de equivalentes STX/L.

3.5 Sucinta descrição dos sedimentos da Lagoa do Peri

De acordo com o estudo realizado por Oliveira (2002), em sua análise granulométrica dos sedimentos da Lagoa do Peri, foram encontrados quatro tipos de sedimentos para o fundo da lagoa e adjacências: fácies grânulo-arenosa, arenosa, sílico-argilosa, e argilosa-siltosa.

Grânulo-arenoso: encontrado na desembocadura do rio Peri e rio Cachoeira, no extremo sul da lagoa;

Arenoso: compreende uma ampla área que se distribui em outras sub-áreas: norte, nordeste e leste da lagoa, relacionados a profundidades menores;

Sílico-argiloso: compreende uma zona intermediária entre a área arenosa com profundidade menor e o argiloso com profundidade relativamente maior, sendo esse sedimento localizado nas áreas central, noroeste e sudoeste do corpo lagunar;

Argiloso-siltoso: encontrado em profundidades maiores e distribuídos nas partes centrais da lagoa, sendo esse sedimento localizado em direção ao oeste, onde as profundidades se fazem crescentes, e limitado pela encosta.

O setor de predomínio arenoso, cujo tamanho médio do grão varia de areia fina à média e cuja profundidade varia de 0 à $\pm 3,5$ m, está localizado quase em sua totalidade próximo à margem leste, representando aproximadamente 40% da área da lagoa, que revelou teores de matéria orgânica abaixo de 5% (OLIVEIRA, 2002).

O mesmo autor afirma que a lagoa, no seu setor leste, é influenciada pelos depósitos sedimentares de origem eólica e marinha, esta última representando, provavelmente a principal proveniência do sedimento nesse setor da lagoa, uma vez que estão distribuídos ao longo da margem leste.

3.6 Métodos de tratamento e pré-tratamento estudados na lagoa do peri

Foi construído um laboratório de pesquisas junto à ETA da Lagoa do Peri, através de um convênio entre a UFSC e a CASAN, para simular diversos sistemas de tratamento. As pesquisas realizadas até o momento para avaliar o método de pré-tratamento da água foram:

- a) **Filtração Direta Descendente com diferentes coagulantes com e sem pré-floculação e diferentes composições de meio filtrante:** A utilização de um filtro-piloto com fluxo descendente e uso de dois coagulantes SA (Sulfato de Alumínio) e PAC (Hidroxiclreto de Alumínio) em dois meios filtrantes investigados – camada única de antracito e camada dupla de antracito e areia –, mostrou que as carreiras da camada única são melhores, resultando em carreiras mais longas na ordem de 73%, quando comparadas com as carreiras de camada dupla, além da produção de água de melhor qualidade, independentemente dos dois tipos de coagulantes utilizados na pesquisa. O emprego da pré-floculação, utilizando o SA e o PAC para as diferentes composições de meio filtrante mostrou que a remoção da turbidez e cor aparente foram sensivelmente maiores (entre 1% a 4%) em relação aos ensaios sem pré-floculação (DI BERNARDO *et al.*, 2003; DALSSASSO & SENS, 2004). A remoção média de fitoplâncton variou entre 70% a 98%, utilizando S.A e 85% a 98%, utilizando o PAC em camada única de carvão com e sem pré-floculação.
- b) **Filtração Direta Ascendente em areia com diferentes coagulantes:** A utilização de um filtro de areia com fluxo ascendente resultou em valores de cor aparente e de turbidez da água filtrada menores com o uso do hidroxiclreto de alumínio, mesmo para dosagens superiores às de sulfato de alumínio. A duração das carreiras com a utilização do hidroxiclreto de alumínio foram ligeiramente menores em relação à duração das carreiras com a utilização do sulfato de alumínio, provavelmente em razão do melhor desempenho em termos de cor e turbidez (DI BERNARDO *et al.*, 2003; DALSSASSO & SENS, 2004). A remoção do fitoplâncton variou entre 80% a 98%, com resultados sensivelmente melhores quando foi utilizado o hidroxiclreto de alumínio.
- c) **Pré-tratamento mecânico com micropeneiras:** O pré-tratamento mecânico com micropeneiras (aberturas de 25 e 50 μ m; filtro AMIAD modelo SAF-3000), em estudo realizado por Silveira (2003), mostrou um

incremento médio 35% na carreira média dos filtros, com ganho de até 1,5 horas na carreira de filtração com micropeneira de 25 μ m. A filtração direta da água bruta com micropeneiras de 50 μ m apresentou uma remoção de algas de 61%. Por sua vez, a filtração direta da água bruta com micropeneiras de 25 μ m apresentou uma remoção de algas de 64%.

- d) **Remoção de algas através de eletroflotação:** A eletroflotação seguida de filtração direta descendente, em estudo realizado por Garcia (2002), mostrou uma remoção de fitoplâncton na água bruta de 78,2%, e na água coagulada eletroflotada com sulfato de alumínio resultou numa remoção de 79,3% para uma taxa aplicada de 2,8 m/h aos 10 minutos. Outra taxa aplicada – de 8,4 m/h aos 20 minutos – mostrou uma remoção de fitoplâncton da água bruta de 76,3%, e com água coagulada eletroflotada este percentual foi de 79,1%.
- e) **Pré-oxidação com ozônio e cloro:** As águas submetidas ao pré-tratamento com ozônio apresentaram melhor qualidade, quando comparadas àquelas dos ensaios que utilizaram a pré-cloração. A realização da pré-ozonização com dosagens de ozônio utilizadas na pesquisa (1,5; 2,0; 2,5) mgO₃ / L removeu o fitoplâncton presente nas amostras de água bruta em mais de 99%, superando a pré-cloração, que com a dosagem de 2,5 mgCL₂ / L alcançou por volta de 55% de remoção (MONDARDO, 2004; DI BERNARDO *et al.*, 2003 e SENS *et al.*, 2004). A pré-ozonização aumentou em média a duração das carreiras de filtração em 42% e produziu água de melhor qualidade no que se refere à remoção de cor e turbidez (MONDARDO, 2004; SENS *et al.*, 2004).

3.7 Filtração em margem

Filtração em margem é uma forma de captação, que permite tratar em diferentes níveis, água de mananciais de superfície. Com essa técnica, a água superficial é induzida a infiltrar-se através das margens e/ou fundo do manancial, misturando-se com a água subterrânea local. São muitas as maneiras de melhorar a qualidade da água captada, podendo prescindir em certos casos de algum tratamento complementar. Por esse motivo, esquemas de filtração em margem têm sido explorados em todo o mundo (INSTITUT FÜR WASSERCHEMIE, TECHMISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN, 2001 apud DONALD E GRYGASKI, 2002).

Enquanto escoa através do sedimento, a água é exposta a processos físicos, químicos e biológicos que ajudam a remover as impurezas, melhorar o gosto e o cheiro, além de remover certos poluentes perigosos, como os solventes industriais e outros contaminantes presentes nos rios (ÁGUA ON LINE, 2004). Esse sistema de filtração no solo natural, de baixo custo, que ocorre ao longo das margens dos corpos d'água, pode remover micróbios e matéria orgânica enquanto o fluxo o percorre. O resultado é uma água mais limpa que é bombeada para a superfície através de poços localizados a curta distância das margens.

O interesse em sistemas de filtração em margens está crescendo por três razões:

- a) Em muitas regiões o suprimento de água subterrânea sofre limitações significativas;
- b) O custo/benefício de processos de atenuação natural se torna crescentemente reconhecido;
- c) A filtração em margem pode ser uma solução para outros problemas complicados relacionados à qualidade da água (ex. cryptosporidium e giardia).

Devido a essas razões, as soluções oferecidas pela filtração em margem podem resolver problemas para países em desenvolvimento e desenvolvidos.

A filtração em margens tem sido empregada, principalmente na Alemanha, por mais de 120 anos. Originalmente, a filtração em margem

sozinha era suficiente para prover um suprimento de água potável. Porém, com a deterioração crescente da qualidade da água superficial, tem sido necessário adicionar etapas ao tratamento do recurso hídrico após a filtração em margem.

3.7.1 Vantagens da Filtração em Margem

Existem numerosas vantagens na utilização da Filtração em Margens como tecnologia de pré-tratamento.

O valor da filtração em margem não é representado somente pelo tratamento reduzido e diminuição de custos, mas também pelo fornecimento de muitos serviços incalculáveis que beneficiam os consumidores, o meio ambiente e as futuras gerações (RAY *et al.*, 2003).

De acordo com a Tabela 3.2 pode-se observar que alguns serviços e benefícios da filtração em margem são capazes de gerar determinados valores. A remoção de contaminantes, por exemplo, causará uma redução de custos com saúde, um maior tempo de vida, melhora da produtividade, redução de riscos de câncer na população e melhora no meio ambiente em geral.

A filtração em margem necessita de uma manutenção mais simples do que outros métodos de pré-tratamento, o que gera uma redução de custos com operação. Assim, à medida que esse método vai sendo aceito pela população, por meio da confiabilidade, ele fornece uma proteção contra estiagens, já que também utiliza água subterrânea como suprimento (Tabela 3.2). Além disso, também ocorre a remoção de nutrientes – o que reduz custos no tratamento e monitoramento –, e redução dos sólidos totais dissolvidos, que leva a uma menor corrosão das tubulações e maior satisfação dos clientes (população).

Tabela 3.2 Valores da Filtração em Margem

Serviços e Benefícios	Valores
Remoção de Contaminantes (Patogênicos/Químicos)	Maior Tempo de Vida Melhora da Produtividade Redução de Custos com Saúde Redução de Risco de Câncer Melhora do Meio Ambiente
Manutenção Reduzida	Redução de Custos com Operação
Aumento da Confiabilidade (como Abastecimento de Água)	Proteção Contra Estiagens
Remoção de Nutrientes (Orgânicos)	Custos de Tratamento Reduzidos Menor Cuidado na Operação Custos mais Baixos de Monitoramento
Melhora no Abastecimento de Água à População (Devido à Redução de Sólidos Dissolvidos Totais)	Maior satisfação dos Clientes Menor Corrosão das Tubulações

(Fonte: modificado de RAY *et al.*, 2003)

Vantagens da filtração em margem sobre a captação de água superficial

- Remoção de partículas, algas, bactérias, vírus e parasitas.
- Remoção de compostos facilmente biodegradáveis.
- Redução de contaminantes orgânicos persistentes e metais pesados.

Vantagem da filtração em margem como etapa de pré-tratamento

- O uso de processos naturais assegura uma sustentabilidade da qualidade uniforme da água bruta, o que alimenta o processo de tratamento capacitando a otimização do mesmo.

3.7.2 Problemas da Filtração em Margem

Quando a água encontra-se contaminada por compostos orgânicos persistentes, como por exemplo, pesticidas e farmacêuticos, esses contaminantes persistentes ou recalcitrantes podem não ser afetados pela passagem através do solo e apenas se misturarem à água subterrânea (KUHN & MÜLLER, 2000). Assim, a filtração por margem pode não ser suficiente como única forma de tratamento, quando esses tipos de contaminantes estão presentes nas águas superficiais.

Outro problema que pode ocorrer são os ácidos fúlvicos. Esses representam a maior fração solúvel dos materiais húmicos, constituindo 90 % das substâncias húmicas dissolvidas na maioria das águas naturais. Segundo Wilson (1985, apud DREWES *et al.*, 2003), a presença de cor na água é causada por ácidos fúlvicos, que podem, muitas vezes, estar presentes no sedimento, sendo dissolvidos na mesma. .

Substâncias húmicas conferem uma cor marrom a amarelada à água, o que é indesejável. A cloração de substâncias húmicas provoca a quebra de sub-unidades húmicas por meio da formação de produtos clorados e não clorados, alguns dos quais são comprovadamente carcinogênicos (DREWES *et al.*, 2003).

Choi *et al.* (1998), explicam que existem várias diferenças entre a filtração lenta em areia e a filtração em margem, não somente na configuração física desta, mas também nos mecanismos de remoção de contaminantes. O material filtrante para filtração lenta em areia é uma areia média com tamanho uniforme de partículas. Por outro lado, a média do solo das margens, que são formadas em um longo período de tempo e cujas partículas variam em tamanho, podem conter materiais orgânicos na superfície das mesmas como resultado do intemperismo, e também uma quantidade relativamente grande de materiais argilosos eletricamente reativos. Essas propriedades distintas do tamanho médio das partículas do solo nas margens, podem resultar em algumas características diferentes na remoção de contaminantes.

Conseqüentemente, as margens como material filtrante incluem uma maior quantidade de funções do que a filtração lenta em areia.

Além disso, na filtração em margem ocorrem dificuldades nos processos de monitoramento e otimização do controle da qualidade. Segundo Jekel e Heinzmann (2003), o processo de filtração em margem muitas vezes ainda funciona como uma “caixa preta” e requer o levantamento de dados e investigações adicionais, especialmente em nível internacional, por causa das rápidas mudanças ecológicas e de exigências relacionadas ao ciclo hidrológico.

Ainda existe pouca aceitação pública (particularmente em países desenvolvidos) do método de filtração em margem, devido à elevada disponibilidade de equipamentos de tratamento avançado no mercado (BANKFILTRATION, 2004).

3.7.3 Técnica da Filtração em Margem

A filtração em margem é utilizada para a captação da água a ser potabilizada. Para isso, é necessário um poço próximo à margem. O nível do lençol freático é rebaixado artificialmente por bombeamento. Por diferença de nível, a água do lago ou rio flui em direção ao poço misturando-se com a do lençol freático.

A distância do poço em relação à margem deve ser calculada para provocar um tempo de detenção suficiente para o tratamento da água no grau desejado. Vários parâmetros são levados em conta no seu dimensionamento, como: porosidade do solo, permeabilidade, potencial de oxi-redução de compostos orgânicos, oxigênio, temperatura, qualidade e estrutura do lençol freático, etc.

As toxinas presentes na água podem ser degradadas por microorganismos presentes no próprio solo, pela distância de filtração do corpo hídrico até o poço.

A Fig. 3.5 apresenta um esquema ilustrativo do processo de captação de água via filtração em margem.

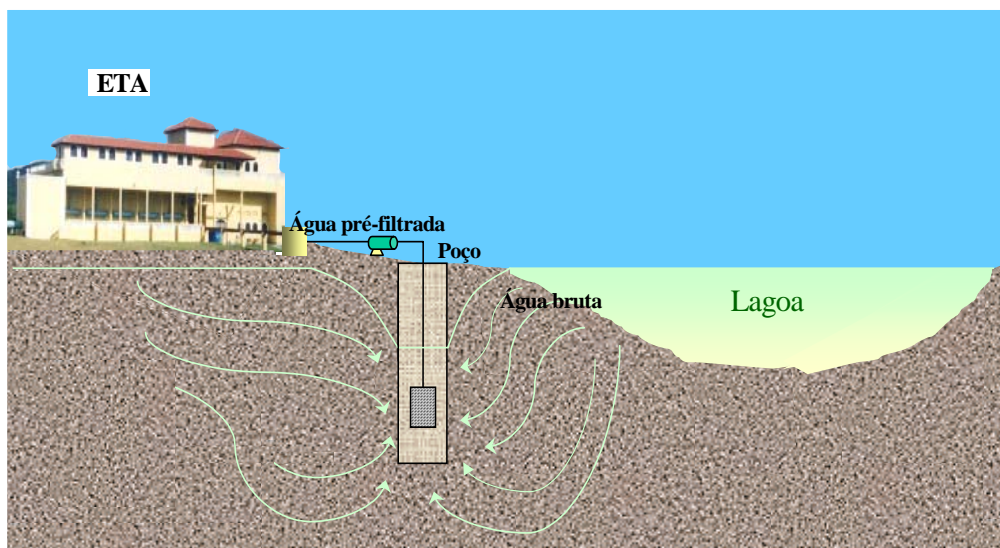


Figura 3.5 Esquema de filtração em margem

Sedimentos da margem proporcionam uma “filtração de taxa lenta” e a água pré-tratada é de melhor qualidade do que a captada diretamente do corpo hídrico (DILLON *et al.*, 2000 apud DONALD e GRYGASKI, 2002) .

Os processos envolvidos na filtração em margem podem ser:

- a) hidrodinâmicos, incluindo advecção, dispersão e difusão;
- b) mecânico, como a colmatção das partículas nos espaços entre os poros;
- c) biológicos, como a degradação de matéria orgânica de necessidades metabólicas e mineralização de substratos secundários; e
- d) físico-químicos, como sorção, precipitação, complexação, floculação, coagulação, reações redox, e troca iônica (DOUSSAN *et al.*, 1998 apud DONALD e GRYGASKI, 2002).

Segundo Heberer e colaboradores (2004), o monitoramento das águas superficiais e filtradas em margem, juntamente com o entendimento dos processos físicos, bioquímicos e hidráulicos locais, são necessários para alcançar e controlar um suprimento sustentável de abastecimento desse recurso.

3.7.4 Recarga Artificial de Águas Subterrâneas e Filtração em Margem na Alemanha

A efetividade da filtração em margem e recarga artificial de águas subterrâneas é reconhecida na Alemanha há bastante tempo. Em consequência da ocorrência de diversas doenças bacterianas de veiculação hídrica por águas de abastecimento captadas de rios no fim do século 19 – como o surto epidêmico de cólera em Hamburgo em 1892 e 1893, por exemplo –, a extração direta de corpos hídricos superficiais para o abastecimento público caiu em descrédito e foi substituída ou suplementada pela passagem natural ou artificial das águas de rios pelo subsolo, devido à eficiência desse processo na remoção de microorganismos (SHMIDT *et al.*, 2003).

Atualmente, aproximadamente 16% das águas de abastecimento na Alemanha são produzidas a partir de filtração por margem ou recarga artificial de corpos hídricos subterrâneos. Devido à poluição, o tratamento direto de águas de rios caiu para 1%. Os fornecedores desse recurso em Berlim produzem aproximadamente 75% da água potável através de filtração por margem ou recarga artificial de corpos subterrâneos. Mais especificamente, os maiores fornecedores do recurso geralmente utilizam a recarga artificial na produção de água potável. O tempo de retenção de ambas as técnicas pode variar de 5 a 100 dias ou mais. Na prática, a filtração por margem produz uma mistura de águas com diferentes tempos de retenção (SHMIDT *et al.*, 2003).

A recarga artificial de corpos hídricos subterrâneos pode ser definida como o aumento da infiltração natural da água de precipitação ou superficial nas formações subterrâneas por algum método de construção, espalhamento ou pela variação artificial das condições naturais. Com base nessa definição, os fossos e valas, as galerias de infiltração, e os poços coletores diretamente adjacentes às águas superficiais e por elas largamente alimentados, servem de meio de recarga artificial.

Segundo Bouwer (2002), sistemas de infiltração superficial exigem a existência de solos permeáveis e zonas vadosas (*vadose zones*), para que a água possa penetrar pelo solo até o aquífero, além da existência de mananciais não confinados e suficientemente transmissíveis para que ocorra

um fluxo lateral que evite o acúmulo de água no sistema de infiltração. Assim, são necessários mapas do solo e relatórios hidrogeológicos para a seleção inicial dos melhores locais.

Segundo Shmidt *et al.* (2003) águas subterrâneas naturais encontram-se raramente disponíveis nas quantidades necessárias para suprir a demanda de grandes cidades. Na Alemanha, a tarefa criada foi a de se aumentar o suprimento de corpos subterrâneos naturais, através da infiltração de águas superficiais. Dessa forma, o desenvolvimento histórico dos Sistemas de Abastecimento de Água localizados em margens de rios ocorreu por meio da extração, num primeiro momento, a partir de corpos subterrâneos naturais para o abastecimento; depois, de uma mistura de águas subterrâneas e filtradas por margem e, subsequente, de líquido extraído quase que exclusivamente através de filtração por margem.

Segundo Shmidt *et al.* (2003), como na extração de pequenos rios a vazão de água filtrada não era suficiente para suprir a demanda, criaram-se represamentos nesses locais. O problema de colmatção do leito foi superado por operações massivas de revolvimento do mesmo. Outras zonas de infiltração foram criadas através da construção de trincheiras artificiais e canais laterais. Para melhorar a qualidade da água e facilitar o processo de limpeza da zona de infiltração, foi incorporada uma camada de areia específica em trincheiras, canais e lagos de infiltração.

A infiltração por trincheiras é muito aplicada quando a vazão atingida através de filtração em margem, por poços, não é suficiente; quando a filtração em margem não é possível devido às características geológicas do local; ou quando as fontes de água subterrânea na margem do rio estão altamente contaminadas (SHMIDT *et al.*, 2003).

Estudos conduzidos por Zuehlke e colaboradores (2004) avaliaram processos da filtração em margem, como transporte vertical e horizontal e remoção de contaminantes em condições naturais, para obter dados representativos de variações sazonais, mudanças de condições ambientais e efeitos hidráulicos nos Lagos Tegel, em Berlim. O estudo demonstrou uma

diminuição da concentração de esteróides estrogênicos de mais de 80% a uma distância muito curta da margem do corpo d'água.

Outros estudos realizados no Lago Tegel e Wannsee por Heberer e colaboradores (2004) indicaram que farmacêuticos como bezafibrato e indometacina, alguns antibióticos e esteróides estrogênicos podem ser eficientemente removidos durante a filtração em margem.

A filtração em margem, como diversos estudos mostram, é um método efetivo de tratamento ou pré-tratamento de água que elimina diversos contaminantes indesejáveis.

3.7.5 Taxas de Infiltração e Condutividade hidráulica

Depois que pesquisas do solo e da hidrogeologia local identificarem locais apropriados para a recarga artificial de águas subterrâneas com sistemas superficiais de infiltração, testes de infiltração “saturados” deverão ser realizados para determinar qual valor de taxa de infiltração pode ser esperado. A finalidade é estimar, a área necessária para uma certa taxa volumétrica, ou a taxa de recarga que pode ser atingida em uma certa área de terreno (BOUWER, 2002).

Entre as características de fluxo está o coeficiente de permeabilidade (K) ou condutividade hidráulica, que é a taxa de infiltração de um fluido em um meio poroso. Infiltração, permeabilidade e condutividade hidráulica têm significados idênticos porque refletem a capacidade de um solo de se deixar atravessar pela água; cada denominação é geralmente empregada com fim específico:

- a) Infiltração** – movimento vertical descendente de água em um meio poroso;
- b) Permeabilidade** – característica de um meio de se deixar atravessar pela água;
- c) Condutividade hidráulica saturada** – movimento da água em um solo saturado.

Segundo a Lei de Darcy, o fluxo de água através de um solo saturado é diretamente proporcional à carga hidráulica e inversamente proporcional à coluna de solo, onde:

$$Q = KiA \quad (3.1)$$

Sendo,

Q = descarga (cm^3 / h)

K = condutividade hidráulica (cm / h) ou m / dia

A = área de fluxo (cm^2)

i = gradiente hidráulico que de acordo com a Fig. 3.6 é igual a:

$$H / L \quad (3.2)$$

H = carga hidráulica (cm)

L = altura da coluna de solo testada (cm)

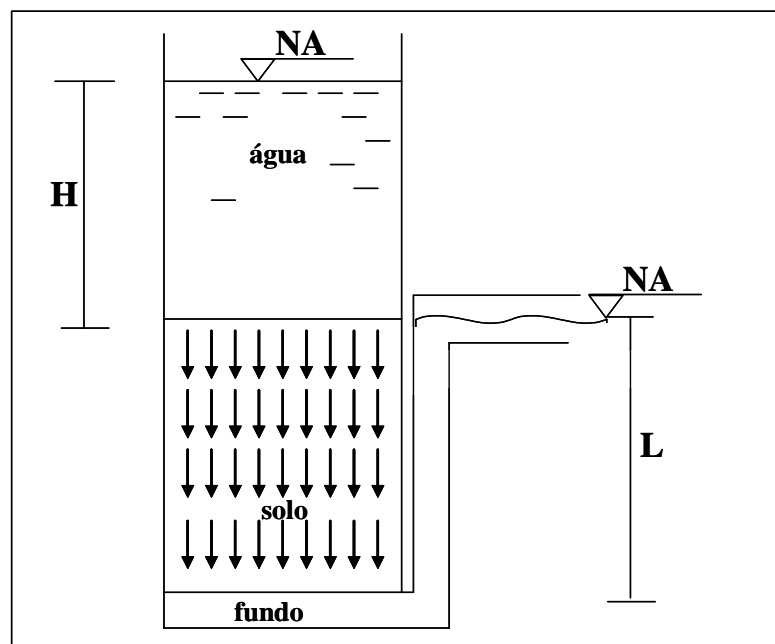


Figura 3.6 Desenho esquemático da condutividade hidráulica vertical

Substituindo-se (3.2) em (3.1) tem-se:

$$Q = K (H/L) A \quad (3.3)$$

$$K = QL / AH \quad (3.4)$$

São muitos os ensaios de campo empregados para medir a condutividade hidráulica de um solo ou amostra de solo. Esses ensaios são, às vezes, denominados de ensaios de infiltração, ensaios de permeabilidade ou ensaios de condutividade hidráulica.

Esses ensaios admitem diferentes métodos de aplicação conforme a natureza do meio testado (rocha ou solo), o método de prospecção (sondagens, poços ou cavas) e o objetivo que se pretende alcançar. Para a obtenção do valor K , no campo, existem vários tipos de ensaios, como:

- a) Ensaio de furo de trado em presença de lençol freático;
- b) Ensaio de furo de trado em ausência de lençol freático;
- c) Ensaio de piezômetro;
- d) Ensaio de anel permeâmetro.

Os três primeiros medem a condutividade hidráulica horizontal, enquanto o ensaio de anel mede a condutividade hidráulica vertical.

Os infiltrômetros são tubos cilíndricos curtos, de chapa metálica, com diâmetros variando entre 200 e 900 mm, cravados verticalmente no solo de modo a restar uma pequena altura livre sobre estes, utilizados para determinação direta da capacidade de infiltração local do solo (PINTO *et al.*, 1973). O mesmo autor ainda descreve que podem ser utilizados um ou dois tubos concêntricos.

No primeiro caso, o tubo é colocado no terreno até uma profundidade maior ou igual à penetração da água durante a duração do ensaio, para evitar o erro causado pela dispersão lateral do meio hídrico. Durante todo tempo da experiência, mantém-se sobre o solo uma camada de água de 5 a 10 mm. Uma vez conhecida a taxa de aplicação do líquido adicionado, essa é dividida pela área da seção transversal do tubo e tem-se a capacidade de infiltração.

Quando se utilizam dois tubos concêntricos, a água é adicionada aos dois compartimentos, sendo também mantida em camada com a espessura de 5 a 10 mm. A função do tubo externo é atenuar o efeito da dispersão do meio hídrico no tubo interno.

Entretanto, o uso desses pequenos infiltrômetros pode superestimar a taxa de infiltração de grandes áreas devido ao fluxo lateral (divergência),

abaixo e em volta do cilindro, por capilaridade (BOUWER 1986; BOUWER *et al.* 1999b apud BOUWER, 2002).

Infiltrômetros de cilindro duplo ou “tamponados” não compensam o efeito de divergência, pois isso causa a superestimação da infiltração na porção central do cilindro. A aproximação mais lógica é, portanto, usar grandes áreas para testes de infiltração, como as de 3x3m com bermas, por exemplo, onde os efeitos da divergência são menos importantes. Entretanto, esses testes são laboriosos e requerem grandes volumes de água, pois se pode levar mais de um dia para se atingir as taxas “finais” de infiltração. Uma melhor aproximação seria o uso de cilindros simples convencionais com uma profundidade d’água significativa para acelerar o processo de infiltração, e para terminar os testes em prazos relativamente curtos (5h, por exemplo) (BOUWER, 2002).

Devido à variabilidade espacial, os testes de infiltração em cilindro devem ser realizados em diversos locais no mesmo terreno. As taxas de infiltração obtidas nunca devem ser expressas com mais de dois algarismos significativos (BOUWER, 2002).

A condutividade hidráulica de um solo sofre influência de uma série de fatores tais como:

- a) Qualidade da água utilizada** – Em solos salinos o teste deve ser conduzido também com água salina.
- b) Viscosidade da água** – Deve ser feita correção de viscosidade sempre que a temperatura da água variar em valor igual ou superior a 2° C.
- c) Textura, estrutura e consistência do solo** – O parâmetro textura, quando avaliado em separado, pode levar a erros imensos, uma vez que, solos de mesma textura podem apresentar estrutura e consistência bem diferentes. Um solo de textura argilo-arenosa, de estrutura maciça e bastante adensado ou cimentado, pode ser praticamente impermeável.
- d) Efeito da ação de microrganismos** – Muitas vezes um solo apresenta valores de condutividade hidráulica altos no início do ensaio e após ter atingido o estado de saturação. Com o tempo esses valores

começam a declinar, o que é atribuído à ação de microrganismos que se desenvolvem e morrem entupindo os poros do solo.

e) Presença de ar nos poros do solo – sempre que é iniciado um ensaio em solo não saturado, esse sofre a influência da presença de ar que é confinado nos poros. Com o tempo esse ar vai sendo eliminado caso não haja a ação de outros fatores atuando em sentido contrário.

Tabela 3.3 Valores típicos para a condutividade hidráulica de diversos tipos de solo

Solos Argilosos	< 0,1 m/dia
Argilas	0,2 m/dia
Siltes arenosos	0,3 m/dia
Areias siltosas	0,5 m/dia
Areias finas	1,0 m/dia
Areias médias	5,0 m/dia
Areias grossas	> 10,0 m/dia

Fonte: (BOUWER, 1999 em BOUWER, 2002)

Bouwer (2002) ainda completa que como as taxas de infiltração variam inversamente à viscosidade da água, a temperatura também afeta as taxas de infiltração, em áreas de grande amplitude térmica. Os efeitos de viscosidade podem fazer com que as taxas de infiltração durante o inverno se reduzam a praticamente metade dessas taxas no verão. Assim, se os sistemas de recarga devem ser baseados em uma certa capacidade, essa capacidade deve ser calculada durante os meses de inverno, quando a água é mais fria e a taxa de

infiltração é mais baixa. Por outro lado, as atividades microbianas e a colmatção causadas podem atingir os seus picos máximos durante o verão.

3.7.6 Colmatção do solo

O maior problema dos sistemas de infiltração para recarga artificial de águas subterrâneas e de filtração em margem é a colmatção da superfície de infiltração (bases de bacias, paredes de trincheiras e poços de zona vadosa, e interfaces poço-aquífero em poços de recarga) (KÜHN & MÜLLER, 2000; BOUWER, 2002).

A colmatção é causada por processos químicos, físicos e biológicos:

Processos físicos: compreendem a acumulação de sólidos suspensos – orgânicos e inorgânicos – na água de recarga, como argilas e partículas de limo, células de algas, fragmentos e células de microorganismos, e flocos de lodo em efluentes de esgotos. Outro processo físico é o movimento vertical para baixo de partículas finas de solo que estavam na água ou no próprio solo, e a acumulação dessas pequenas partículas a uma certa profundidade onde o solo é mais denso ou mais fino, onde as mesmas formam uma pequena camada colmatada. A espessura dessa camada pode variar desde poucos mm até alguns cm ou mais (SUMNER & STEWART, 1992 apud BOUWER 2002).

Processos biológicos: compreendem a acumulação de flocos de algas e bactérias na água e na superfície de infiltração; e crescimento de microorganismos sobre o solo e dentro dele para formar biofilmes e biomassa (incluindo polissacarídeos e outros produtos metabólicos) que bloqueiam os poros e/ou reduzem o seu tamanho.

Processos químicos: incluem a precipitação de carbonato de cálcio, gipsita, fosfatos, e outros compostos químicos sobre o solo e dentro dele.

Segundo Bouwer (2002), algumas vezes, essas precipitações são induzidas por aumentos no pH causados, por sua vez, por algas, ao passo que essas removem o CO₂ dissolvido na fotossíntese. As bactérias também produzem gases (nitrogênio, metano) que bloqueiam os poros e se acumulam

abaixo da camada colmatada, criando barreiras de vapor para a infiltração. Quando a água se aquece pelo solo ou pelo aquífero, o ar é suspenso da solução e formam-se bolsões de ar preso no solo, que reduzem a condutividade hidráulica.

A colmatção diminui conforme são reduzidos os parâmetros que a causam. Para águas superficiais, o melhor procedimento para redução da colmatção é geralmente a pré-sedimentação, para eliminar a argila, limo e outros sólidos suspensos. Pode-se obter esse efeito através da construção de represas no rio ou sistemas de aquedutos (que também podem regular a vazão), que diminuem a velocidade da água e favorecem a sedimentação ou ainda através da passagem da água através de bacias de sedimentação antes da recarga. Para agilizar o processo de sedimentação, podem ainda ser utilizados coagulantes como alumínio e polímeros (BOUWER, 2002).

As taxas de colmatção aumentam com o crescimento da taxa de infiltração, pois ocorre um aumento na carga de sólidos suspensos, nutrientes e carbono orgânico na superfície. Por esse motivo, um aumento na pressão de injeção em instalações de recarga que já mostram sinais de colmatção, aumentarão ainda mais esse problema. O bombeamento regular de poços de recarga e a remodelação das paredes controlam e postergam o processo de colmatção, mas não o eliminam. O aumento da coluna d'água em bacias de recarga ou da pressão e injeção em poços de recarga também pressionam a camada colmatada, o que reduz ainda mais a sua permeabilidade e, logo, a sua taxa de infiltração (BOUWER, 2002).

3.7.7 Simulação da filtração em margem através de testes de laboratório em colunas

Nos últimos 10 a 15 anos, testes de colunas em laboratório têm sido desenvolvidos para estimar experimentalmente os efeitos da filtração em margem (SONTHEIMER, 1988; MÄLZER *et al.*, 1993; BÖRNICK *et al.*, 2001 apud WORCH 2002).

Segundo Worch, (2002) para avaliar a eficiência da remoção de um composto orgânico das águas de um rio, duas questões devem ser respondidas:

- a) Qual é a velocidade de degradação biológica da substância?
- b) Qual é o nível da ligação desta substância ao solo e aos materiais que compõe o aquífero e qual é o retardo do transporte da substância em relação ao transporte da água?

Substâncias pouco degradáveis ou não degradáveis podem ser transportadas aos pontos de extração ou captação das estações de tratamento de água. Para essas substâncias, os efeitos da adsorção no leito do rio são os mais significativos. O tempo de transporte até o ponto de extração depende fortemente dos coeficientes de sorção da substância transportada (WORCH, 2002).

É possível obter-se um prognóstico do comportamento dos compostos orgânicos durante a filtração por margem através de teste de laboratórios, podendo-se priorizar as substâncias de acordo com os níveis de qualidade para a água potável (WORCH, 2002).

Os métodos de simulação fornecem informações básicas sobre as constantes das taxas de degradação biológica e as constantes de equilíbrio de adsorção sob condições possivelmente mais próximas da realidade. Além disso, esses testes de laboratório não são demorados nem caros, e seus objetivos são obter indicações gerais do comportamento dos poluentes e previsões de pior caso, ao invés de se obter uma descrição exata de microprocessos complicados (WORCH, 2002).

Segundo Worch (2002), as condições delimitantes na escolha das características físicas de um experimento com coluna são:

- a) As concentrações das substâncias no teste devem ter a mesma ordem de magnitude das concentrações no rio;
- b) A taxa de filtração deve ser baixa para evitar a abrasão do biofilme;
- c) Permitir um longo período de retenção;

- d) A taxa de infiltração no experimento deve ser da mesma ordem de magnitude daquelas existentes em águas subterrâneas;
- e) O projeto de coluna deve permitir que curvas completas de breakthrough (curvas de saída de concentração de contaminante) sejam medidas num certo intervalo de tempo, por exemplo: o breakthrough não deve ocorrer muito rapidamente, para que haja um volume suficiente de amostra para a realização de análises químicas. São retiradas amostras da saída da coluna e a concentração dessas é plotada em um gráfico de 'concentração x tempo' para que se obtenha a curva do breakthrough, que é a base de cálculo para o coeficiente de adsorção.

Alguns experimentos podem ser observados na Tabela 3.3, onde são mostradas as condições operacionais de alguns autores e os focos de suas pesquisas, que foram realizadas em condições saturadas utilizando areia natural como material de preenchimento das colunas.

Tabela 3.4 Condições operacionais de alguns autores

Autores	Taxa de filtração (m/d)	Diâmetro (mm)	Altura da coluna (m)	Foco da pesquisa	Sentido do fluxo	Material filtrante
CHORUS et al. (2002)	2,4	86 e 400	2 e 5	Algas cianobactérias	Asc.	Sedimento virgem sem contato prévio c/ MCs
BOUWER et al. (2002)	0,03	-	-	Qualidade da Água	Desc.	Sedimento natural da margem
JEKEL et al. (2002)	0,10 a 0,30	140 e 400	1 e 5	Substâncias orgânicas	-	Areia fina natural
CHOI et al (1998)	2,93	25	0,218	Adsorção e Transporte de Contaminantes	Asc.	Solo Natural do Aqüífero
WORCH et al. (2002)	0,5 a 0,8	74	2	Processos de sorção	-	Areia natural do aqüífero

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Considerações gerais

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Potabilização de Águas (LAPOÁ) situado no Departamento de Engenharia Sanitária (ENS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e no Laboratório de Águas da Lagoa do Peri (LALP), situado na Estação de Tratamento de Água da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). Esse laboratório é fruto de um convênio entre o Departamento ENS e a CASAN.

Nesses laboratórios avaliou-se o comportamento da passagem da água da lagoa no sedimento das margens da mesma (sobretudo em relação à colmatção devida ao material particulado), por meio de colunas e outras características relevantes à implantação do método de Filtração em Margens.

A Lagoa do Peri é o manancial que alimenta a Estação de Tratamento de Água que abastece a costa leste e sul da Ilha de Santa Catarina. Esse local foi escolhido para estudo devido à redução nas carreiras dos filtros, provocada pelo excesso de fitoplâncton presente na lagoa – que causa a sua colmatção –, em especial algumas espécies de algas encontradas nos últimos anos (*Cylindrospermopsis raciborskii* - superior a 100.000 indivíduos/mL : 83,82mm³/L e *Pseudanabaena galeata* - superior a 130.000 indivíduos/mL: 11,15mm³/L) em suas águas.

As investigações experimentais foram conduzidas nas seguintes etapas:

⇒ 1º ETAPA: Ensaio de infiltração *in loco* nos sedimentos do fundo das margens da lagoa e verificação de alguns parâmetros de qualidade da água bruta;

⇒ 2º ETAPA: Ensaio em colunas filtrantes preenchidas com sedimento (solo natural) da lagoa e análises da qualidade da água antes e após a passagem pelas colunas de solo;

⇒ 3º ETAPA: Ensaios de permeabilidade em Permeâmetro de Nível Constante;

⇒ 4º ETAPA: Análise do sedimento retirado das colunas após seis meses de experimento (porcentagem de matéria orgânica e microscopia) e comparação com o sedimento da lagoa;

⇒ 5º ETAPA: Sondagem da área de implementação dos poços (margens da Lagoa do Peri);

⇒ 6º ETAPA: Implementação de piezômetros e poços;

⇒ 7º ETAPA: Medição do nível do lençol freático da Lagoa do Peri e verificação do escoamento.

4.2 Ensaio de infiltração in loco (1º etapa) em solo saturado do canal

O ensaio de infiltração no solo da margem da lagoa foi realizado com o objetivo de prever a infiltração do sedimento natural deste solo. Para verificar se este sedimento poderia ser favorável a implantação do método de filtração em margem no local.

4.2.1 Localização

O ensaio foi realizado nas margens direita e esquerda da entrada do canal Sangradouro, tendo como referencial o Canal Sangradouro, próximo à barragem de captação da Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri (Fig. 4.1), em oito medições, sendo quatro na margem direita e quatro na margem esquerda.

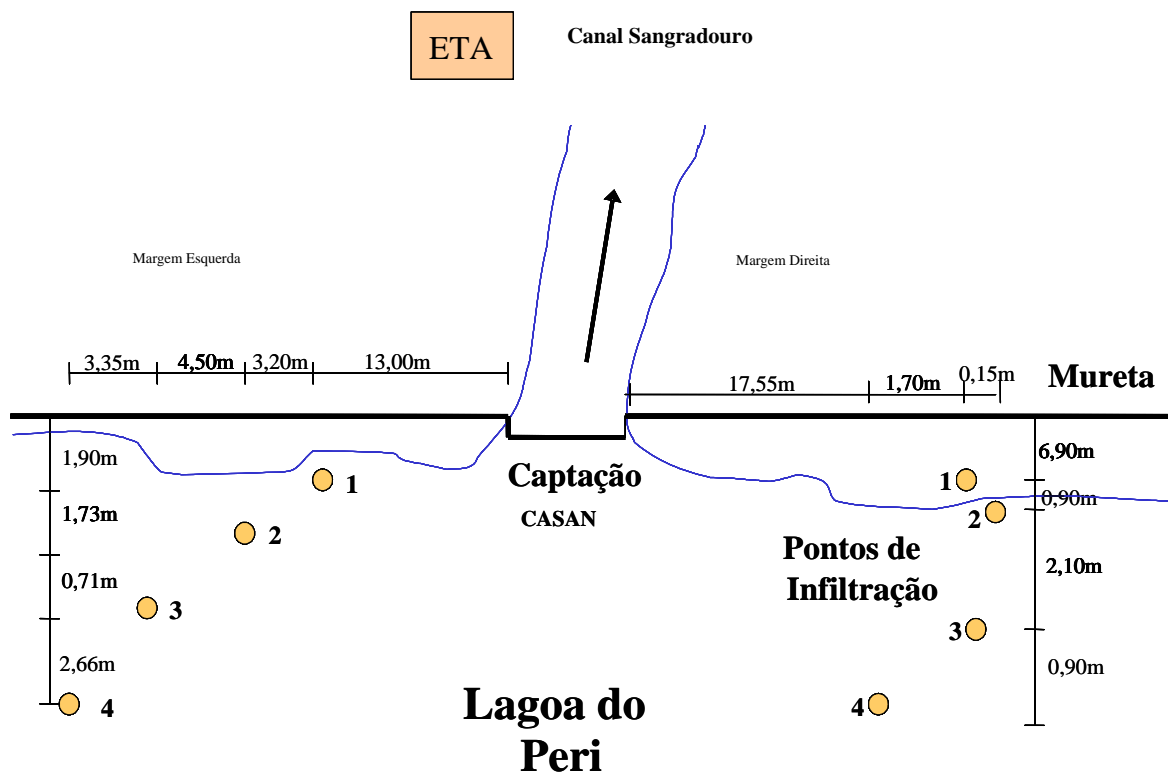


Figura 4.1 Esquema de localização dos pontos de infiltração

4.2.2 Descrição do ensaio

No ensaio foi utilizado um tubo de PVC de 50 mm de diâmetro e 1,50 m de comprimento, dentado na extremidade inferior, e acoplado a um piezômetro. O tubo, com seção interna útil de $0,0020 \text{ m}^2$, foi cravado no sedimento do fundo das margens da lagoa. Foi aplicada uma carga hidráulica (H1) de 70 cm, valor estimado para o rebaixamento do nível do lençol freático da lagoa e padronização de todas as medições (Fig. 4.2 e 4.3).

A profundidade da lagoa variou de uma medição para outra e a profundidade de cravação do tubo (H2) ficou na média de 11 cm.

Relacionando o volume de água infiltrado num determinado intervalo de tempo, com a área transversal do tubo, tem-se a taxa de infiltração, dada pela equação 4.1:

$$Txi = (Vi \times 1,44) / (S \times ti) \quad (4.1)$$

Onde:

Txi = taxa de infiltração ($m^3/m^2.d$)

Vi = volume infiltrado (L)

S = área da seção transversal do tubo (m^2)

ti = tempo para infiltrar o volume Vi (min)

4.2.3 Qualidade da água

Para verificação de alguns parâmetros de qualidade foram coletadas amostras da água bruta no mês de abril de 2004 e efetuadas algumas análises conforme métodos e equipamentos utilizados na Tabela 4.1 a seguir:

Tabela 4.1 Parâmetros de qualidade e métodos analíticos utilizados

Parâmetros	Métodos e Equipamentos de Medidas
Turbidez	Neofelométrico -Turbidímetro HACH 2100P
Cor aparente	Espectrofotometria-Espectrofotômetro HACH DR/2010 $\lambda = 455 \text{ nm}$
Cor verdadeira	Filtração em membrana de acetato de celulose de 0,45 μm e leitura em espectrofotômetro HACH DR/2010 $\lambda = 455 \text{ nm}$
pH	Potenciométrico - pHmetro HACH SENSion 1
Condutividade	Condutivímetro portátil HACH

4.3 Ensaios em colunas filtrantes preenchidas com sedimento (solo natural) da lagoa (2º etapa)

4.3.1 Coleta de amostras de solo

As amostras de sedimento foram coletadas em junho de 2004.

Convencionou-se coletar amostras indeformadas de solo das margens direita e esquerda da Lagoa, tendo como referencial o Rio Sangradouro. Na ocasião foram coletadas 2 amostras de cada lado da margem, ou seja, 4 amostras.

O aparato usado neste procedimento consiste de um tubo simples, dentado na parte inferior, de PVC, com 100 mm de diâmetro e 50 cm de altura, conforme as Fig. 4.4 e 4.5.

A profundidade do corpo d'água e a composição do sedimento variaram de uma margem para a outra.



Figura 4.4 Foto da amostra coletada



Figura 4.5 Foto do solo moldado

O tubo foi cravado a uma profundidade de 30 cm, até atingir um bom contato tubo-solo. O solo pode então ser moldado (Fig. 4.4) dentro do tubo para, em seguida, ser vedado pela parte inferior com o auxílio de uma pá e extraído para fora da água. Para transportar as amostras ao interior das colunas, foi utilizado um anel transportador de PVC (Fig. 4.6) na sobreposição do conjunto tubo-coluna para impedir o espalhamento da amostra e facilitar o seu

deslizamento até o fundo de cada coluna utilizada no ensaio. Durante a transferência, a coluna foi mantida com água para evitar a formação de bolhas de ar.



Figura 4.6 Foto do anel transportador

4.3.2 Piloto de filtração em colunas

O experimento de filtração em margem foi desenvolvido numa instalação piloto composta de um reservatório de água bruta, uma câmara de nível constante, uma câmara de conexão em série, e quatro colunas de filtração (C1, C2, C3 e C4) conforme a Fig. 4.7, na qual L é a altura da coluna e H é a carga hidráulica.

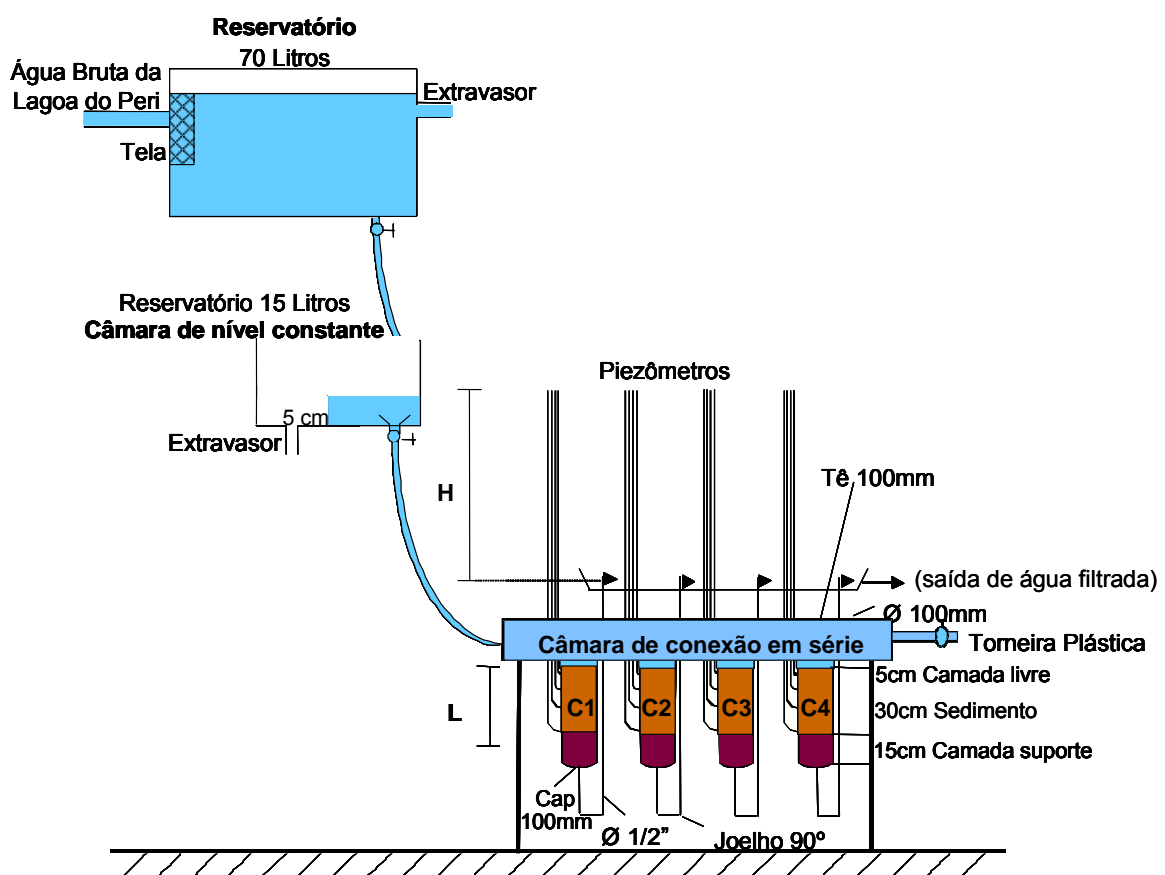


Figura 4.7 Desenho esquemático do piloto de filtração

a) Colunas de filtração

As colunas de filtração foram confeccionadas em material PVC (Policloreto de vinil) adequado ao impedimento da luz à resposta fluorescente do fitoplâncton, medindo, cada uma, 100 mm de diâmetro e 50 cm de altura (Fig. 4.8).

As colunas foram preenchidas com sedimento (solo) proveniente do fundo das margens da Lagoa do Peri. O fundo de cada coluna constava de uma camada de suporte de 15 cm de pedregulho, com granulometria variando entre 2 mm e 5,6 mm, obtido por peneiramento de sedimento proveniente da Praia da Armação, em frente à ETA - Lagoa do Peri. A camada filtrante constava de espessura de 29 cm de sedimento coletado diretamente do fundo das margens e 5 cm de camada livre (Fig. 4.8).

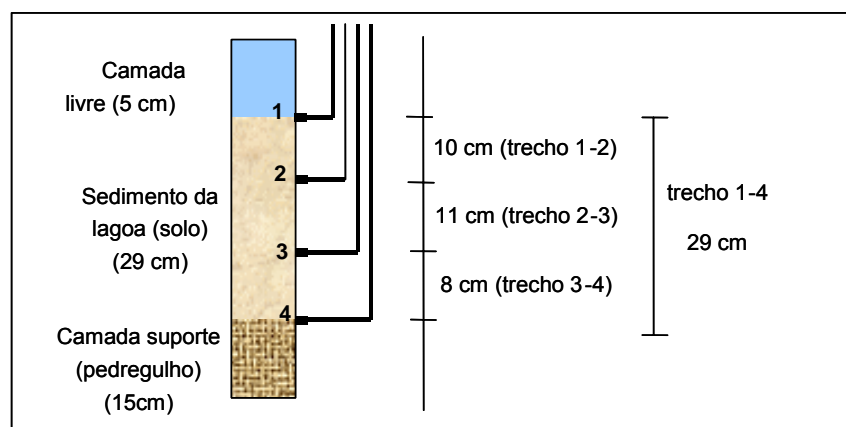


Figura 4.8 Esquema das colunas filtrantes

Em cada uma das quatro colunas foram instalados quatro piezômetros, um na interface sedimento/água, dois na camada de sedimento e um na interface pedregulho/sedimento (Fig. 4.8 e 4.9) para verificar a perda de carga total e unitária.

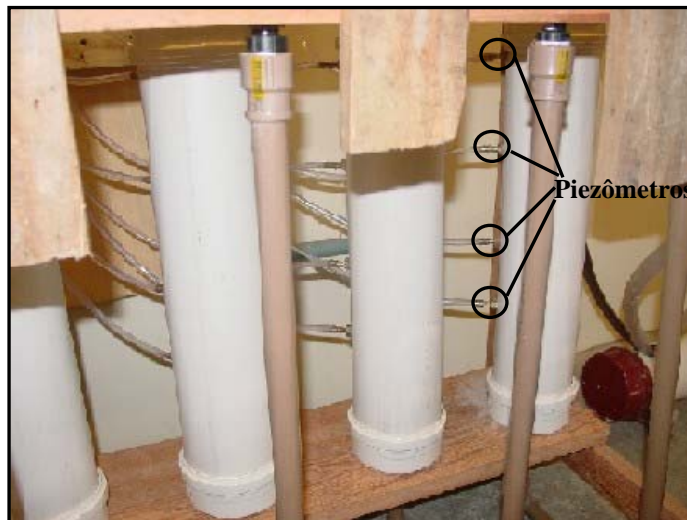


Figura 4.9 Foto mostrando as colunas e piezômetros

O piloto continha 4 colunas, que foram denominadas de colunas 1, 2, 3 e 4, sendo que as colunas 1 e 2 foram preenchidas com o sedimento da margem direita da lagoa e as colunas 3 e 4 com o sedimento da margem esquerda da lagoa.

b) Operação do piloto

O sistema piloto foi alimentado por gravidade com água bruta da Lagoa do Peri, que inicialmente foi direcionada para um reservatório superior de 70 litros, cuja função era garantir o suprimento da mesma ao sistema piloto em caso de problemas nas bombas da ETA. A partir desse reservatório a água passava para uma câmara de nível constante, dotada de orifício de fundo para manter a carga hidráulica também constante no sistema piloto (Figura 4.10). As colunas foram mantidas em condições saturadas pelo topo, através de uma câmara de conexão em série e filtração descendente (Fig. 4.11). Régua graduadas permitiram a alternância e fixação de alturas com a intenção de variar a carga hidráulica (Fig. 4.12).



Figura 4.10 Foto superior do piloto



Figura 4.11 Foto da câmara de conexão

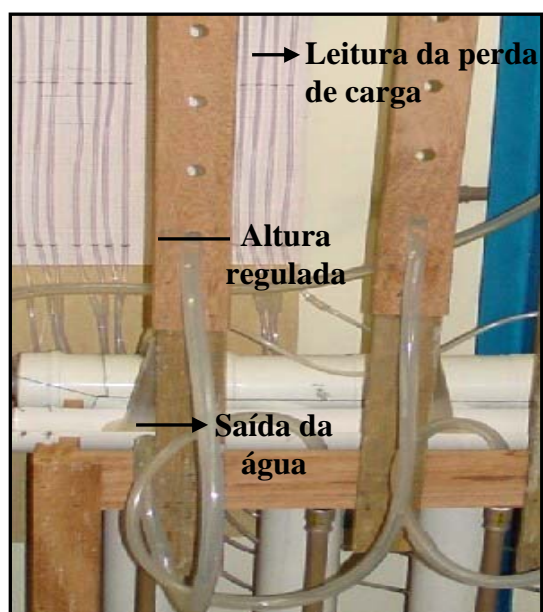


Figura 4.12 Foto das réguas graduadas

c) Regulagem da taxa de filtração

Inicialmente as colunas passaram por um teste e foram alimentadas com carga hidráulica constante ($H=30\text{cm}$). Foram obtidas taxas de filtração iniciais muito elevadas, quando comparadas com taxas de filtros lentos de areia, conforme tabela abaixo:

Tabela 4.2 Teste inicial para regulagem das taxas de filtração

Colunas	Margem	Vazão (mL/min)	Taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$)	Carga hidráulica (cm)
1	Direita	100	18,33	30
2	Direita	127,5	23,37	30
3	Esquerda	28,75	5,26	30
4	Esquerda	4,5	0,82	30

Para melhorar o controle da vazão na saída de cada coluna, várias alternâncias de carga hidráulica foram feitas para ajustar as taxas anteriores. Foram adotadas, taxas de filtração próximas de $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ para as colunas 1 e 3 e $2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ para as colunas 2 e 4, e assim, poder comparar os efeitos da perda de carga (colmatção) em sedimentos diferentes.

Tabela 4.3 Regulagem da taxa de filtração

Colunas	Margem	Vazão (mL/min)	Taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$)	Carga hidráulica (cm)
1	Direita	20,75	3,8	5,5
2	Direita	10,0	1,83	2,5
3	Esquerda	21,75	4,0	20,3
4	Esquerda	11,25	2,06	20,3

4.3.3 Qualidade da água antes e após a passagem pelas colunas de solo

Para verificar a qualidade da água filtrada, amostras de água bruta foram coletadas do reservatório superior do piloto e na saída da mangueira de cada coluna. Primeiramente, foram realizadas cinco análises em três semanas, no período de 23/06/04 a 12/07/04, sendo que a análise da clorofila *a* foi realizada em separado das demais análises, com a coleta das amostras no último dia da medição da taxa (12/07/04). Após esse período, foram realizadas 21 análises de parâmetros físico-químicos, nos meses de julho a dezembro; e nos parâmetros biológicos, 14 análises de clorofila *a* e 5 contagens de fitoplâncton (uma por mês) de agosto a dezembro.

A contagem de fitoplâncton foi realizada utilizando-se o método Utermohl- Hasle com um microscópio invertido LEITZ.

Os principais parâmetros analisados e métodos e equipamentos utilizados podem ser observados na Tabela 4.4 a seguir:

Tabela 4.4 Análises e medidas com seus métodos e equipamentos utilizados

Parâmetros Físico-químicos	Métodos	Equipamentos de Medidas
Turbidez (uT)	Neofelométrico	Turbidímetro HACH 2100P
Cor aparente (uH)	Espectrofotometria	Espectrofotômetro HACH DR/2010 $\lambda = 455\text{nm}$
Cor verdadeira (uH)	Filtração em membrana de acetato de celulose de 0,45 μm / Espectrofotometria	Espectrofotômetro HACH DR/2010 $\lambda = 455\text{nm}$
PH	Potenciométrico	pHmetro HACH SENSion 1
Condutividade		Condutivímetro portátil HACH
Sólidos totais dissolvidos		Condutivímetro portátil HACH
Parâmetros Biológicos	Métodos	Equipamentos de Medidas
Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$)	Extração com etanol – NUSCH	Espectrofotômetro DR 4000-HACH
Fitoplâncton total (ind./ml)	Utermohl – Hasle	Microscópio invertido LEITZ

4.3.4 Parâmetros hidráulicos de acompanhamento das colunas

Para acompanhamento dos parâmetros hidráulicos das colunas a vazão foi medida regularmente, a partir do que se pôde calcular a Taxa de filtração.

A Perda de Carga foi medida por meio de piezômetros instalados em cada coluna. A Carga hidráulica foi fixada para cada ensaio de filtração.

Tabela 4.5 Parâmetros físicos de acompanhamento das colunas

Parâmetro	Unidade	Métodos
Vazão	mL/min	Volumétrico
Perda de carga	mm	Piezométrico
Taxa de filtração	m ³ /m ² d	Calculado
Carga hidráulica	cm	Nível constante

4.4 Ensaios de permeabilidade em permeâmetro de nível constante (3ª etapa)

O permeâmetro de nível constante é utilizado geralmente para solos granulares (arenosos), o coeficiente K é determinado medindo-se a quantidade de água mantida em nível constante, que atravessa em um determinado tempo t uma amostra de solo de seção a e altura conhecidas:

$$K = QL/AH \quad (4.2)$$

Para a realização dos ensaios de permeabilidade, a coluna do permeâmetro Wille Geotechnik D1702 foi preenchida com sedimento, primeiramente da margem direita e posteriormente da margem esquerda da Lagoa do Peri.

Para se garantir a mesma composição e mesma estrutura do solo, é interessante que se retire amostras indeformadas do solo para se realizar ensaios de permeabilidade. Porém, devido às características do equipamento,

isso não foi possível. Mesmo assim, fez-se o possível para que o sedimento fosse revolvido o mínimo possível.

A carga hidráulica (H) foi ajustada para 21,3 cm e o fluxo da água no sentido descendente (Fig. 4.13 a e b). A partir desse ensaio pôde ser determinado o K_p (coeficiente de permeabilidade) do sedimento da Lagoa do Peri.

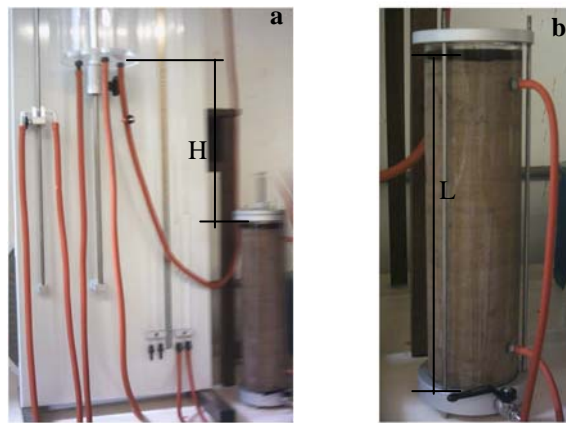


Figura 4.13 Permeâmetro Wille Geotechnik D1702

4.5 Análise de matéria orgânica e microscopia das colunas de sedimento e comparação com o sedimento das margens da lagoa (4ª etapa)

O sistema piloto operou por seis meses, de junho a dezembro de 2004, quando foi retirado o sedimento das colunas 1 e 3 para análise da matéria orgânica por diferença de peso e análise microscópica.

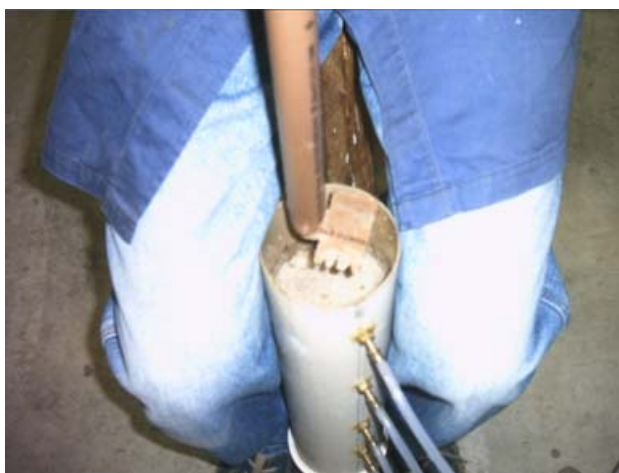


Figura 4.14 Retirada do sedimento das colunas

O sedimento foi retirado das colunas 1 e 3 para comparar o material proveniente das margens direita e esquerda, de maneira que pudesse ser separado em alíquotas: de 0-2 cm, de 2-5 cm, de 5-10 cm, de 10-20 cm e de 20-30 cm, nas colunas 1 e 3.

Na mesma data, nas margens direita e esquerda da lagoa (em relação ao rio Sangradouro), foi cravado um tubo a 30 cm no próprio solo e retirado o sedimento separando-o em alíquotas, da mesma maneira que foi realizada com as colunas. O sedimento das colunas e da lagoa foi retirado com a ajuda de um instrumento elaborado especialmente para tal coleta (Fig. 4.14).

Para realização das análises de matéria orgânica, amostras de 50 g de cada alíquota foram secas a 50 °C até a massa constante, trituradas em almofariz e pistilo e peneiradas em malha de 250 µm para homogeneização. Foram submetidas à queima em mufla a uma temperatura de 550 °C por 4 h, e esfriadas em ambiente livre de umidade. A matéria orgânica perdida por ignição foi calculada por diferença de peso. Esta análise foi baseada na metodologia utilizada por Del Grande *et al.* (2003).

Para realização da microscopia foi colocado 1 cm de sedimento num tubo de ensaio com 5 mL de solução de 1 x pbs fish, misturados em vortex e separada a fração líquida para leitura e realização de fotos no microscópio óptico do LIMA (Laboratório Integrado de Meio Ambiente), com ajuda da

bióloga convidada da Alemanha pelo PPGEA, Dra. Heike Hoffmann. A microscopia foi realizada na camada de 0-2 cm, de 2-5 cm e na camada de 20-30 cm nas colunas, sendo que no sedimento da lagoa foi realizada somente na camada de 0-2 cm, para verificação do fitoplâncton existente nessas porções do solo.

4.6 Sondagem da área de implementação dos poços (margens da lagoa do peri) (5º etapa)

O levantamento e nivelamento dos poços piezométricos foi realizado com a ajuda do LABCIG (Laboratório de Ciências Geodésicas) do Departamento de Engenharia Civil da UFSC. Foi realizada a locação dos poços e piezômetros e o levantamento planialtimétrico do campo experimental. Nesse levantamento foi especificada a cota do local de cada ponto por meio de um piquete cravado junto a cada um deles.

A sondagem da área foi realizada com a ajuda da empresa Hidroilha, que observou o nível freático nos piezômetros e poços.

4.7 Implementação de piezômetros e poços (6º etapa)

Os piezômetros e poços foram perfurados por método de jato d'água, sendo utilizada a água da própria Lagoa para essa atividade.

Foram implantados pontos de medida de nível do lençol, localizados na área indicada na Fig. 4.15. Os poços e piezômetros foram perfurados até 6 m de profundidade, sendo que estes tinham um diâmetro de 40 mm e aqueles de 75 mm.

Na Fig. 4.15 mostra-se somente o poço principal, por se tratar do poço que realiza o bombeamento de água para o Laboratório de Águas da Lagoa do Peri (LALP). Os demais piezômetros e poços implantados no entorno do principal são mostrados nos resultados deste trabalho.

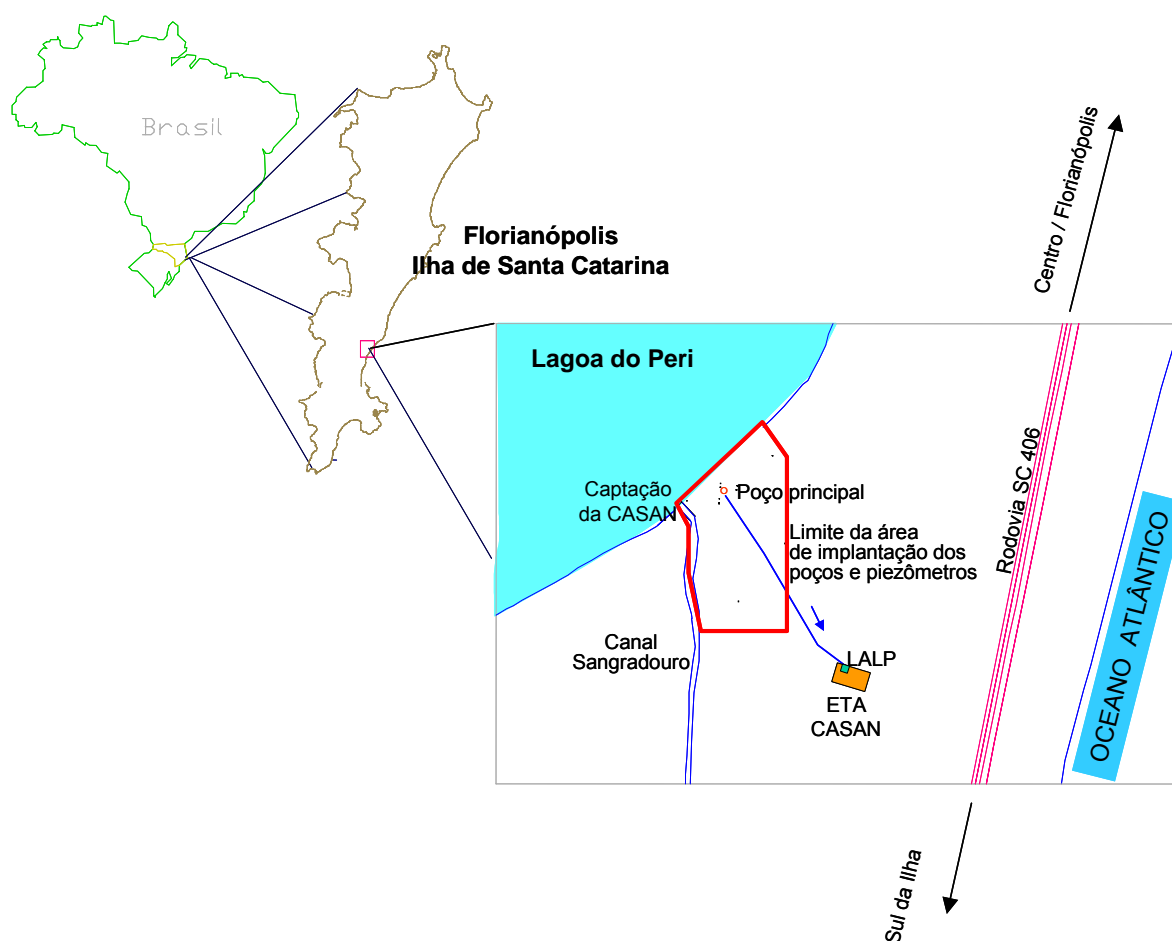


Figura 4.15 Localização do campo experimental

Esse local às margens da lagoa foi o escolhido por se tratar do mais próximo à ETA, com o intuito de minimizar custos e obtenção de maior facilidade de realização do projeto.

Os piezômetros e os pontos nas margens da lagoa e do rio foram escolhidos de modo a fornecer subsídios sobre o comportamento do lençol em nível de escoamento e qualidade da água. A localização dos três poços foi escolhida de modo que o poço central fornecesse água principalmente proveniente da Lagoa do Peri, com o intuito de verificar a eliminação de fitoplâncton desse meio hídrico.

Os dois poços laterais ao poço central foram implantados para proteção do mesmo, mediante captação da água subterrânea, e lançando-a no Canal Sangradouro, para que a água recalçada do poço central fosse

predominantemente da Lagoa do Peri e não houvesse elevada interferência daquela proveniente do lençol freático da região.

4.8 Medição do nível do lençol freático da lagoa do peri e verificação do escoamento (7º etapa)

Para medição do nível do lençol freático na área de implantação dos poços, foi utilizado um equipamento que fechava um circuito elétrico e ao encontrar o nível de água acendia uma luz (equipamento desenvolvido pelo Dr. Ramon Lucas Dalsasso). Esse equipamento era então introduzido nos piezômetros e poços e, ao encontrar o nível d'água, acendia a luz do equipamento informando que esse nível podia ser medido através da régua (Fig. 4.17).



Figura 4.16 Foto da medição do nível do lençol freático da Lagoa do Peri



Figura 4.17 Medidor do nível do lençol freático

Essa leitura era calibrada a um nível de referência (nível do mar), de acordo com as cotas de cada piezômetro, que podem ser verificadas no **Anexo B** (Levantamento topográfico da área dos experimentos na Lagoa do Peri).

Por meio da medição do nível da água dos piezômetros, dos pontos na Lagoa e/ou pontos no canal Sangradouro, e a cota dos pontos, foi determinado o sentido do escoamento do lençol freático da área sem o bombeamento dos poços.

Na Fig. 4.16 pode ser observada a medição do nível do lençol freático na área de estudo com o medidor de nível desenvolvido para tal propósito.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para alcançar os resultados deste trabalho foram realizados inicialmente dois tipos de ensaios: ensaios de infiltração *in loco* para verificar a capacidade de infiltração do solo; e ensaios em experimento de filtração em margem, através de colunas de solo para analisar os efeitos da colmatação através de valores de perda de carga e taxa de filtração, e a qualidade da água pré-tratada.

Após a realização de três ensaios no sistema de filtração em colunas, o sedimento foi retirado, foi realizada a análise de matéria orgânica, microscopia, bem como a comparação com sedimento das margens. Foram realizados também ensaios de permeabilidade no sedimento das margens em permeâmetro de nível constante.

Posteriormente foram realizadas implantações de piezômetros e poços nas margens da lagoa. Os resultados da sondagem, do escoamento e qualidade da água são apresentados neste trabalho.

5.1 Ensaios de infiltração *in loco*

Para a realização de cada ensaio de infiltração *in loco* foi adicionado 1 litro de água no tubo, para uma carga hidráulica de 70 cm, sendo verificado o tempo de infiltração e posteriormente calculada a taxa de infiltração. Foi realizada uma medição em cada ponto.

Os resultados dos ensaios de infiltração *in loco* realizados nas margens esquerda e direita do Canal Sangradouro apresentam-se conforme as Tabelas 5.1 e 5.2 a seguir:

Tabela 5.1 Ensaio de infiltração *in loco* – Margem esquerda do canal

Pontos de medição	Tempo de infiltração de 1 litro de água (minutos)	Taxa de Infiltração ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$)
1	15,37	47,73
2	32,28	22,72
3	10,28	71,32
4	29,07	25,23
Média	21,75	41,75

Tabela 5.2 Ensaio de infiltração *in loco* – Margem direita do canal

Pontos de medição	Tempo de infiltração de 1 litro de água (minutos)	Taxa de Infiltração ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$)
1	3,50	209,54
2	4,22	173,93
3	5,77	127,18
4	7,75	94,63
Média	5,31	151,32

Essas taxas apresentaram valores superestimados devido, principalmente, à dispersão lateral da água, melhor explicada no item 3.7.5. Por essa razão, foi realizado posteriormente o ensaio de permeabilidade do sedimento da lagoa em permeâmetro de nível constante.

Porém, esse ensaio pode ser utilizado para estudos subseqüentes devido à importante informação de que o sedimento das margens da Lagoa do Peri apresenta uma excelente permeabilidade e porosidade, o que foi imprescindível para a realização do piloto de filtração em colunas e outros estudos posteriores.

Observa-se na Fig. 5.1 que a taxa de infiltração máxima foi de $71,32 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e a mínima de $22,72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ para a margem esquerda do canal.

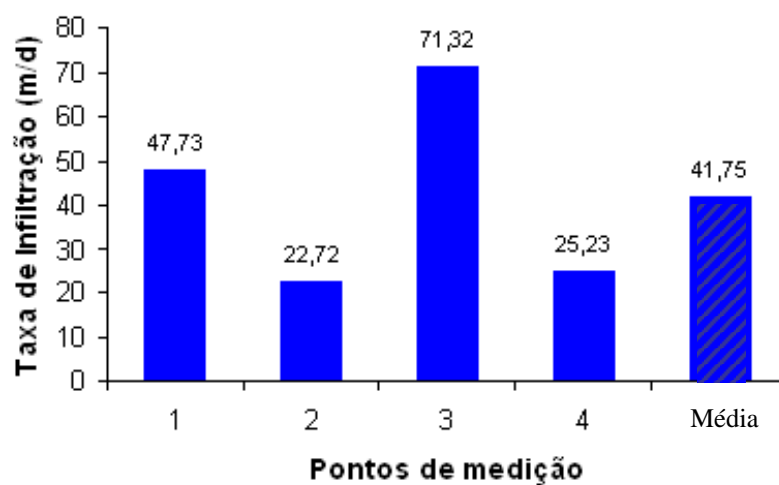


Figura 5.1 Taxas de infiltração na margem esquerda do canal

Observa-se na Fig. 5.2 que a taxa de infiltração máxima foi de 209,54 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e a mínima de 94,63 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ para a margem direita do canal.

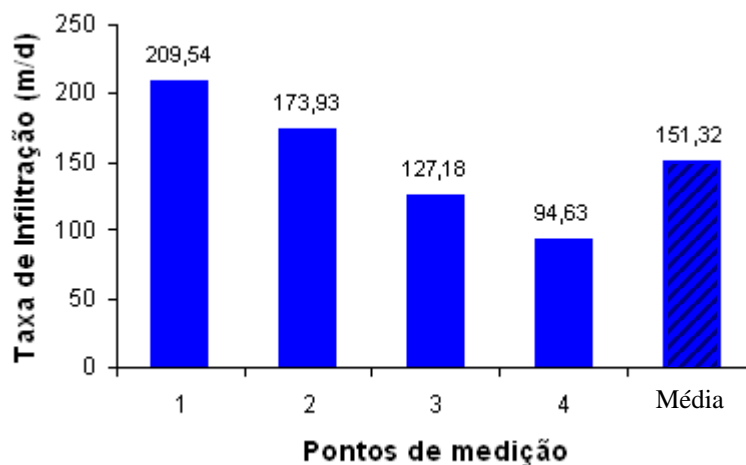


Figura 5.2 Taxas de infiltração na margem direita do canal

Observou-se, então, que a taxa de infiltração foi maior na margem direita do canal, provavelmente devido à maior permeabilidade do solo nesse local. Além disso, durante a construção da ETA, nesse local, foi construída uma mureta de contenção da água da lagoa, e acredita-se que essa obra tenha

influenciado diretamente a permeabilidade do solo, devido à interferência da mesma no revolvimento e compactação do solo da margem esquerda, reduzindo a permeabilidade e conseqüentemente diminuindo a taxa de infiltração. Esses valores de taxas mais elevadas na margem direita também foram observados em sondagens efetuadas pela CASAN e nos resultados do sistema piloto de filtração em colunas.

Observou-se que, na margem direita, o solo (areia) era de granulometria mais uniforme, solto ao contato com os pés, e coloração clara. Na margem esquerda o sedimento era mais escuro de cor marron-acinzentada com a presença de uma camada de material orgânico.

Sugere-se a realização deste ensaio com dois tubos ao invés de somente um, como foi realizado; para se evitar a dispersão lateral. Além disso, a realização deste experimento em outros locais das margens da lagoa seria interessante para se avaliar o real motivo da elevada diferença dos resultados da infiltração de uma margem para outra.

5.1.1 Análises da Água Bruta coletada no período do ensaio

Foram efetuadas algumas análises com o objetivo de verificar a qualidade da água do manancial conforme Tabela 5.3 a seguir:

Tabela 5.3 Parâmetros da água bruta obtidos no mês de abril de 2004

Parâmetros	Valor médio
pH	7,27
Cor Aparente (uH)	53
Cor Verdadeira (uH)	5
Turbidez (uT)	5,23
Temperatura (°C)	22,9
Condutividade (µS/cm)	67,9

5.2 Ensaios de filtração em colunas de sedimentos

Através desses ensaios em laboratório, pode-se ter uma idéia de como a perda de carga e as taxas de filtração se comportaram com o tempo, quando materiais em suspensão foram retidos em solo natural.

O primeiro ensaio durou 6 dias (23/06/04 a 28/06/04), sendo que o sedimento das colunas 1 e 2 – proveniente da margem direita da lagoa – foi comparado com o sedimento das colunas 3 e 4 – proveniente da margem esquerda da lagoa. Para isso foram fixadas cargas hidráulicas com o intuito de ajustar as taxas de filtração iniciais próximas de $4\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ para as colunas 1 e 3, e $2\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ para as colunas 2 e 4.

Devido à colmatção existente (perda de carga elevada e taxas muito baixas), as coletas foram inviabilizadas no sétimo dia do primeiro ensaio (Tabela 5.4); foram então elevadas as cargas hidráulicas para o segundo período de ensaios com duração de 14 dias (29/06/04 a 12/07/04), visando diminuir os efeitos da colmatção.

No segundo ensaio ocorreu colmatção após o 14º dia (Tabela 5.4), por esse motivo, as cargas hidráulicas foram novamente aumentadas no terceiro ensaio (12/07/04 a 15/12/04) para que ocorresse um aumento das taxas nas colunas.

Tabela 5.4 Taxas de filtração iniciais e finais nos três ensaios

Colunas	1º ensaio				2º ensaio			3º ensaio		
	Carga Hidráulica (cm)	Taxa de Filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$)		Carga Hidráulica (cm)	Taxa de Filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$)		Carga Hidráulica (cm)	Taxa de Filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$)		
		Inicial	Final		Inicial	Final		Inicial	Final	
1	5,5	3,80	0,02	19,5	3,76	0,04	70	4,58	0,05	
2	2,5	1,83	0,01	16,5	3,12	0,01	66,5	6,51	0,05	
3	20,3	4,00	0,03	40,5	0,43	0,02	70,5	0,55	0,05	
4	20,3	2,06	0,02	40,0	0,15	0,03	70,5	3,3	0,04	

Obs.: Para todos os ensaios a **taxa de filtração inicial** significa a taxa medida no primeiro dia de ensaio. E a **taxa de filtração final**, a taxa medida no último dia de ensaio.

Lembrando que o primeiro ensaio durou 7 dias, o segundo ensaio durou 14 dias e o terceiro ensaio durou 5 meses.

No primeiro e segundo ensaios ocorreu a colmatção no 7º e no 14º dia, respectivamente. Essa colmatção em um curto período de tempo ocorreu pela deposição de materiais sólidos nos primeiros centímetros da coluna e devido à baixa carga hidráulica aplicada.

No terceiro ensaio, esse material depositado, provavelmente iniciou a sua degradação por microrganismos. Assim, com um aumento significativo da carga hidráulica e uma estabilização biológica das colunas, a taxa permaneceu constante por um período de tempo muito mais elevado do que nos dois primeiros ensaios. Conseqüentemente, a colmatção demorou a ocorrer e o piloto pode operar por um tempo mais longo.

5.2.1 Perda de carga e taxa de filtração

Para uma melhor compreensão e análise de resultados da perda de carga em cada trecho, pode-se observar abaixo um desenho esquemático com a representação da profundidade de cada segmento entre piezômetros conforme a Fig. 5.3, sendo que o fluxo nas colunas ocorreu no sentido descendente.

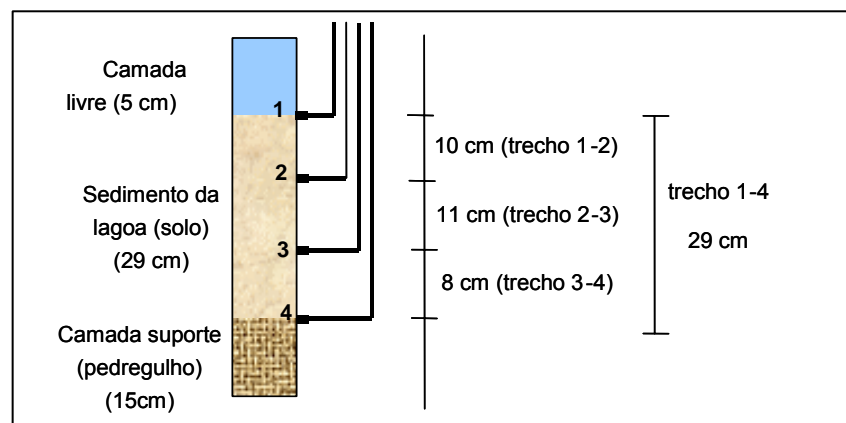


Figura 5.3 Desenho esquemático da coluna de filtração com seus piezômetros

Em todas as colunas, nos três ensaios, observou-se um comportamento similar de perda de carga em cada segmento, ou seja, enquanto no trecho 1-2 aumentava a perda de carga com o tempo, nos trechos 2-3 e 3-4 a perda de carga diminuía com o tempo. Isso provavelmente ocorreu devido a um processo de limpeza do sedimento das colunas, pois as impurezas do meio hídrico ficavam retidas nos primeiros centímetros, deixando passar uma água limpa para o restante da coluna, o que favoreceu sua limpeza.

Outro fato observado foi um valor médio mais alto da perda de carga no trecho 1-2 e um valor médio menor de perda de carga nos trechos 2-3 e 3-4. Isso se deve, provavelmente, ao fato da primeira camada de solo reter todo o material particulado (principalmente fitoplâncton) e a água, já filtrada, remover (dissolver) materiais do solo original nas camadas seguintes.

Nas Fig. 5.4, 5.5 e 5.6 observa-se o comportamento da perda de carga e da taxa de filtração em todos os trechos da coluna 2 nos três ensaios.

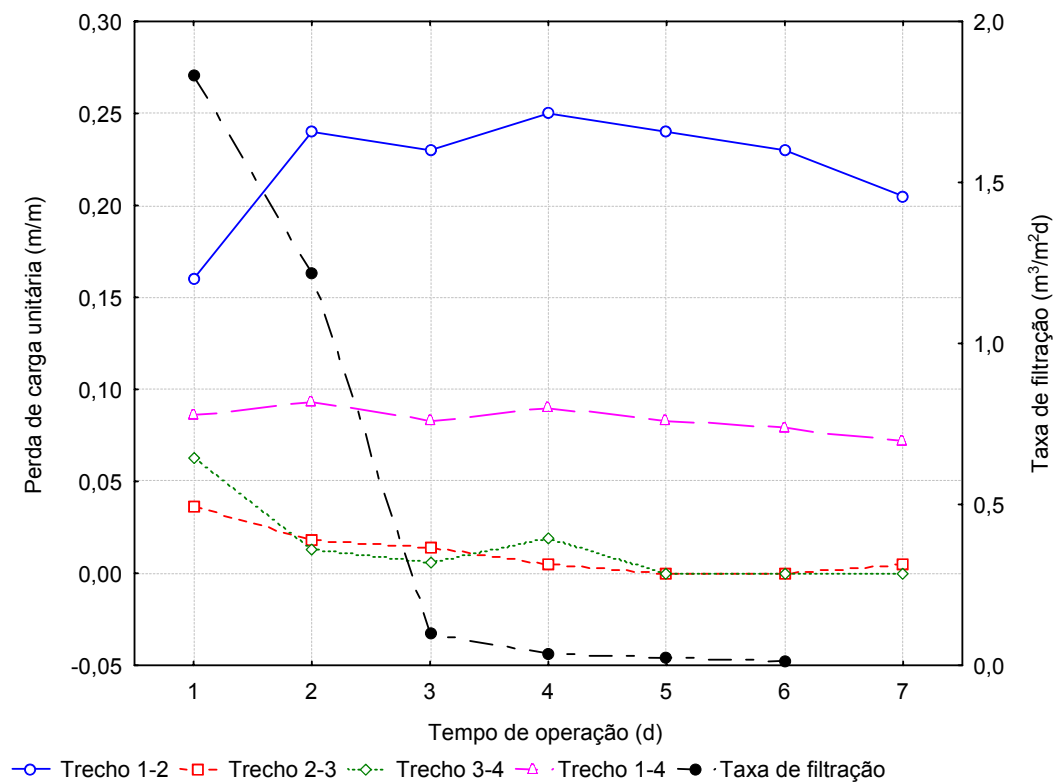


Figura 5.4 Evolução da perda de carga por trecho da coluna 2 durante o primeiro ensaio para uma taxa de filtração inicial de $1,83 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$.

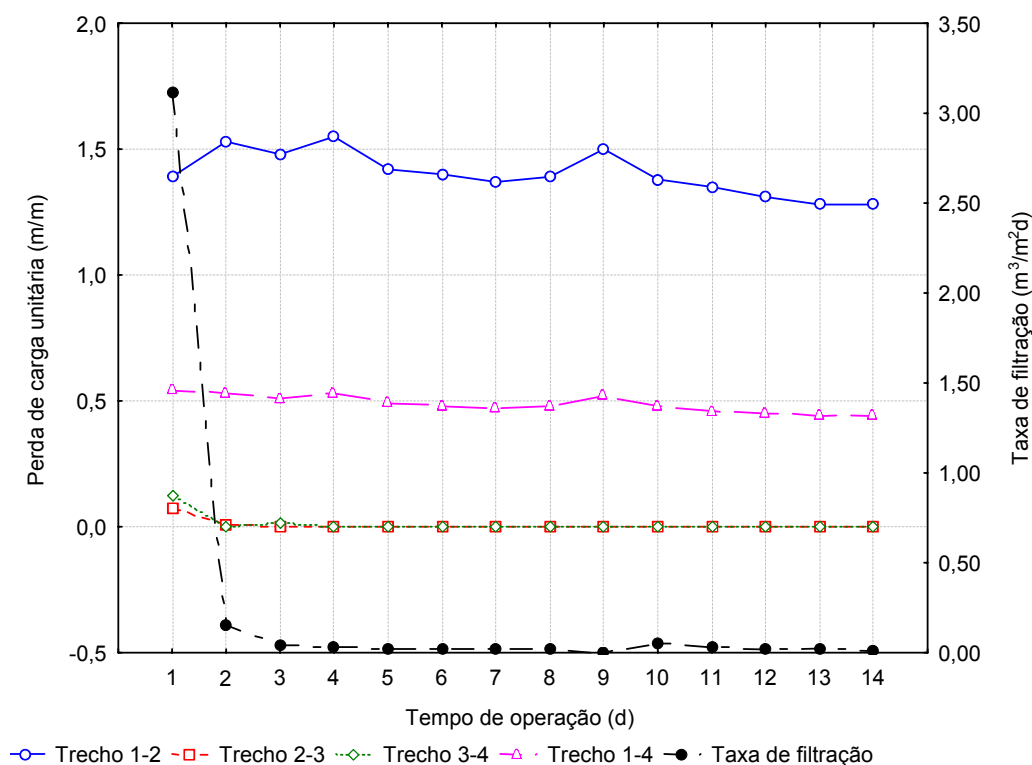


Figura 5.5 Evolução da perda de carga por trecho da coluna 2 durante o segundo ensaio para uma taxa de filtração inicial de $3,12 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$.

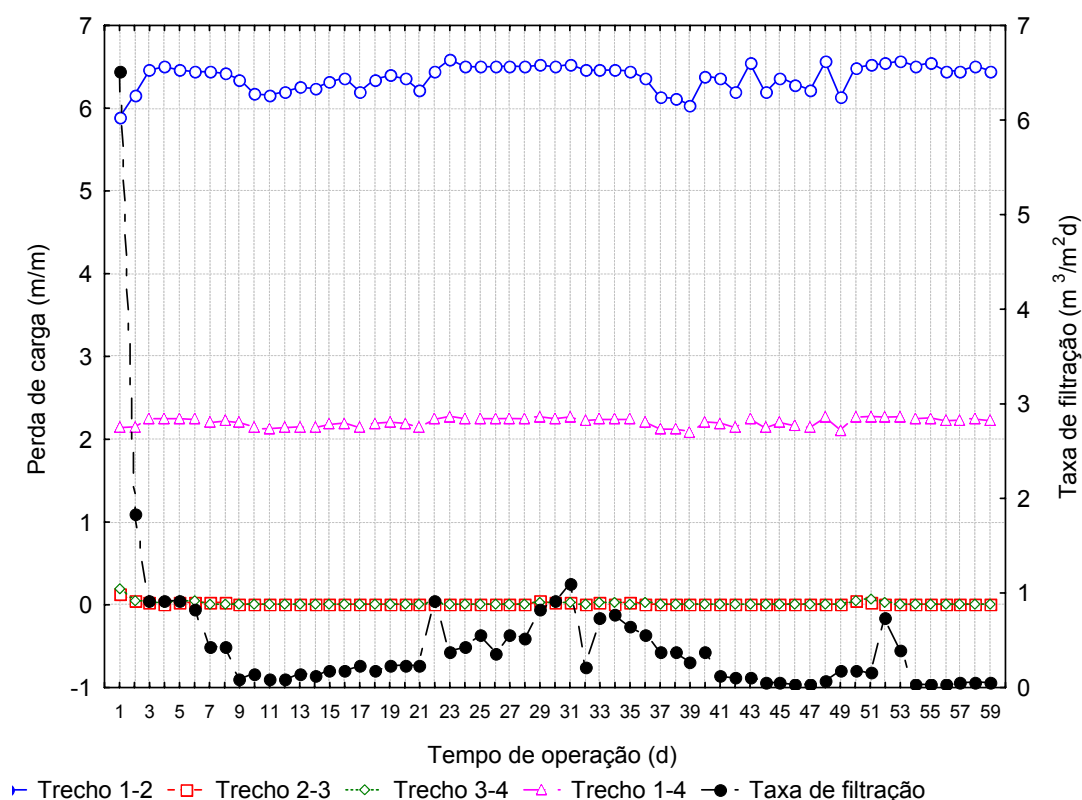


Figura 5.6 Evolução da perda de carga para todos os trechos da coluna 2 durante o terceiro ensaio para uma taxa de filtração inicial de $6,51 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$.

Nos três ensaios, conforme as Fig. 5.4, 5.5 e 5.6, pode ser observado um aumento da perda de carga nos primeiros dias no trecho 1-2. Isso ocorreu devido à colmatção, que após alguns dias diminuiu, em virtude da degradação biológica, estabilizando o valor de perda de carga para esse trecho.

Na coluna 2, no primeiro ensaio, o trecho 1-2 obteve uma perda de carga abaixo de $0,3 \text{ m/m}$; no segundo ensaio este valor ficou na média de $1,5 \text{ m/m}$ e no terceiro ensaio a média aumentou para 6 m/m . Os trechos 2-3 e 3-4 ficaram com valores próximos a zero nos três ensaios, devido à colmatção ocorrida no trecho 1-2. O trecho 1-4, somatório de todos os trechos, permaneceu com valores intermediários de perda de carga, conforme as Fig. 5.4, 5.5 e 5.6.

A taxa de filtração inicia com um valor elevado, mas nos primeiros dias já diminui esse valor, ficando próxima a zero no decorrer de cada ensaio. Isso

ocorreu devido à rápida saturação da areia, que está diretamente relacionada a sua granulometria muito fina.

Observou-se também que, no período de transição (elevação da carga hidráulica no segundo e terceiro ensaio), as taxas e as perdas de cargas aumentaram, mas a partir do segundo ou terceiro dia, as taxas baixaram significativamente, enquanto que a variação da perda de carga foi muito pequena, pois a vazão de filtração foi muito baixa.

Um comportamento similar a esse foi encontrado em todas as colunas e os gráficos podem ser encontrados no Apêndice A, onde são mostrados os gráficos de todas as colunas e de todos os ensaios. Alguns gráficos estão repetidos no apêndice para que a visualização e comparação de todos os aspectos possam ser analisadas.

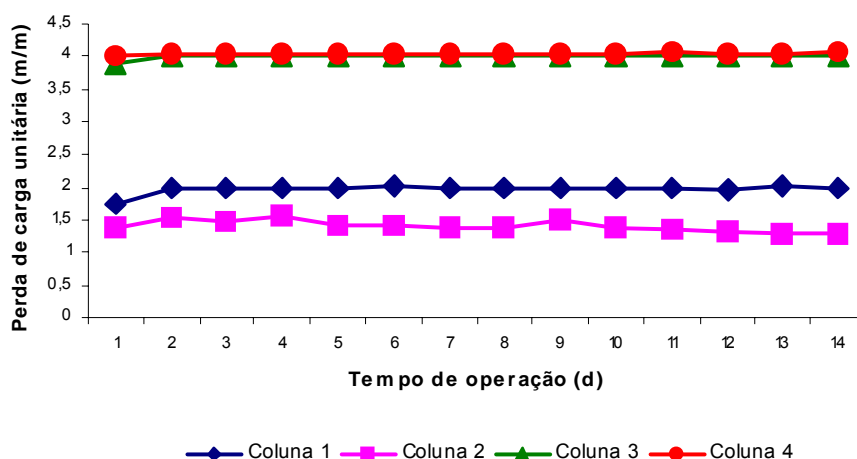


Figura 5.7 Evolução da perda de carga no trecho 1-2 para todas as colunas no segundo ensaio

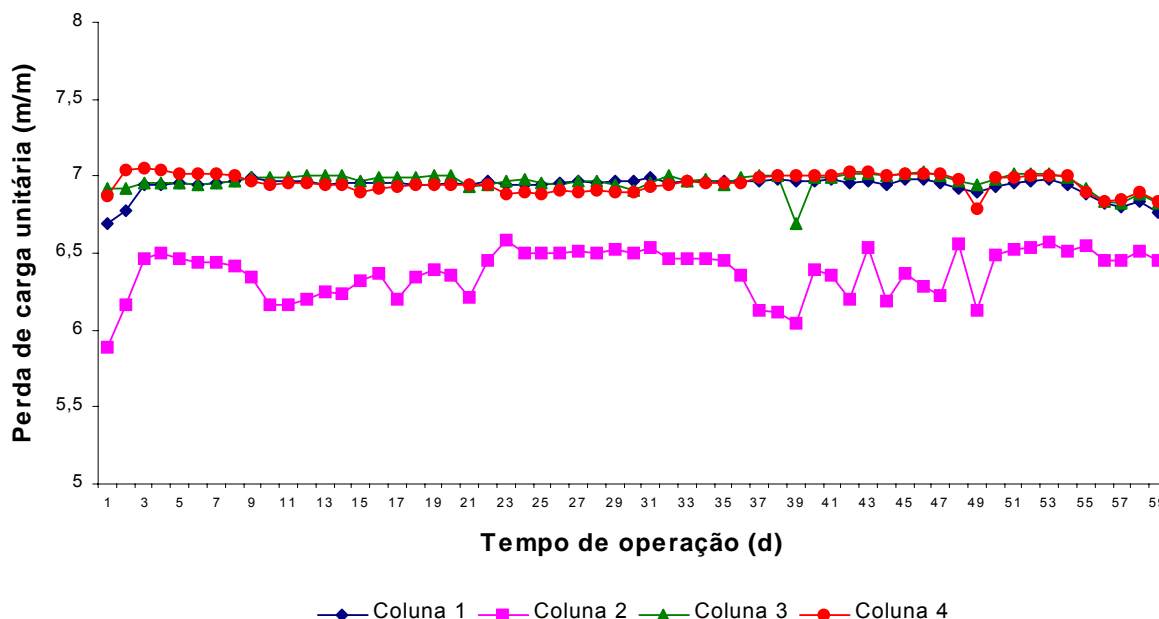


Figura 5.8 Evolução da perda de carga no trecho 1-2 para todas as colunas no terceiro ensaio.

Nas Fig. 5.7 e 5.8 observa-se o comportamento da perda de carga unitária no trecho 1-2 para todas as colunas no 2º e 3º ensaios. O primeiro ensaio apresentou comportamento similar e o gráfico pode ser encontrado no Apêndice B deste trabalho.

Conforme explicado anteriormente, em todas as colunas, o trecho 1-2 tende a aumentar o seu valor nos primeiros dias do experimento, devido à colmatação, e posteriormente estabiliza-se ou diminui esse valor, devido provavelmente à degradação biológica da matéria orgânica presente nesse trecho das colunas.

Ainda observando esses gráficos, nota-se que as colunas 1 e 2 (sedimento da margem direita) e as colunas 3 e 4 (sedimento da margem esquerda), apresentaram comportamento similar. Ou seja, valores aproximados de perda de carga para o mesmo sedimento, principalmente no 1º e 2º ensaios (Fig. 5.7). No 3º ensaio pode ser observada uma maior estabilização desses valores, ficando, todas as colunas, na faixa entre 6 e 7 m/m (Fig. 5.8).

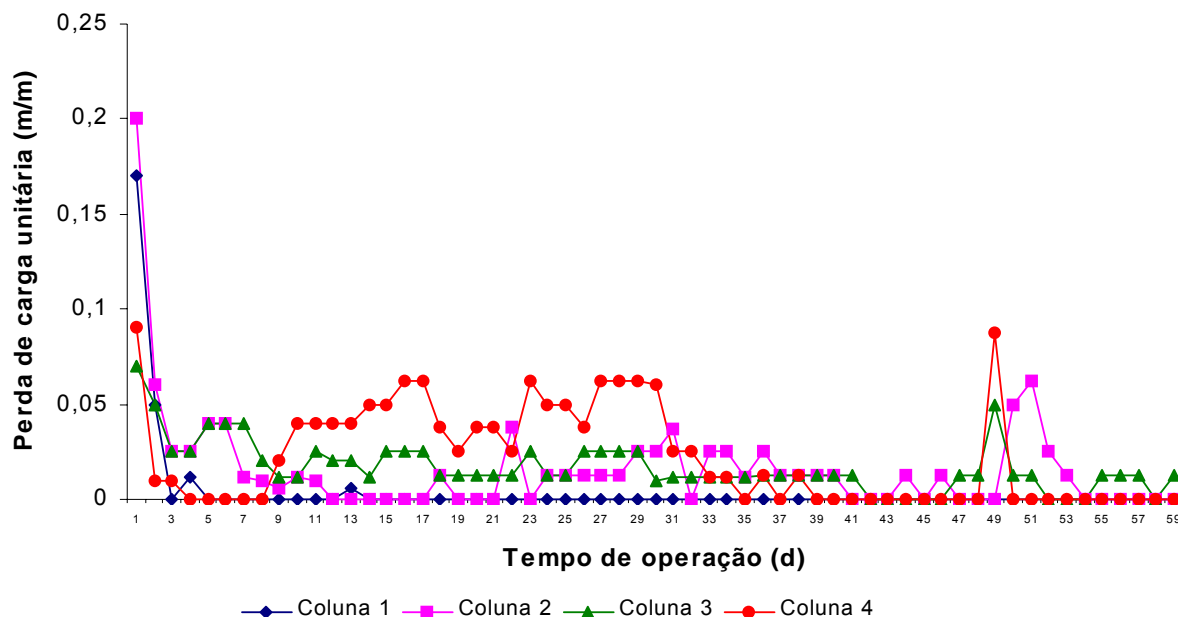


Figura 5.9 Evolução da perda de carga no trecho 3-4 para todas as colunas no terceiro ensaio.

Observando a Fig. 5.9, nota-se que a perda de carga tende a diminuir nos primeiros dias do experimento no trecho 3-4 e posteriormente se estabilizar equilibrando-se com o trecho 1-2. Isso ocorre devido à retenção de sólidos no trecho 1-2 e limpeza do sedimento nos demais trechos.

O comportamento nos três ensaios resultou num aumento da perda de carga do primeiro para o segundo ou terceiro dia no trecho 1-2, e uma queda da taxa de filtração nas colunas. Após esse período as perdas de carga apresentaram valores praticamente constantes e as taxas continuaram a baixar, tendo em vista que a carga hidráulica permaneceu constante em cada ensaio.

A seguir pode ser observado o comportamento do trecho 1-2 das colunas, no 1º, 2º e 3º ensaios (Fig. 5.10, 5.11 e 5.12).

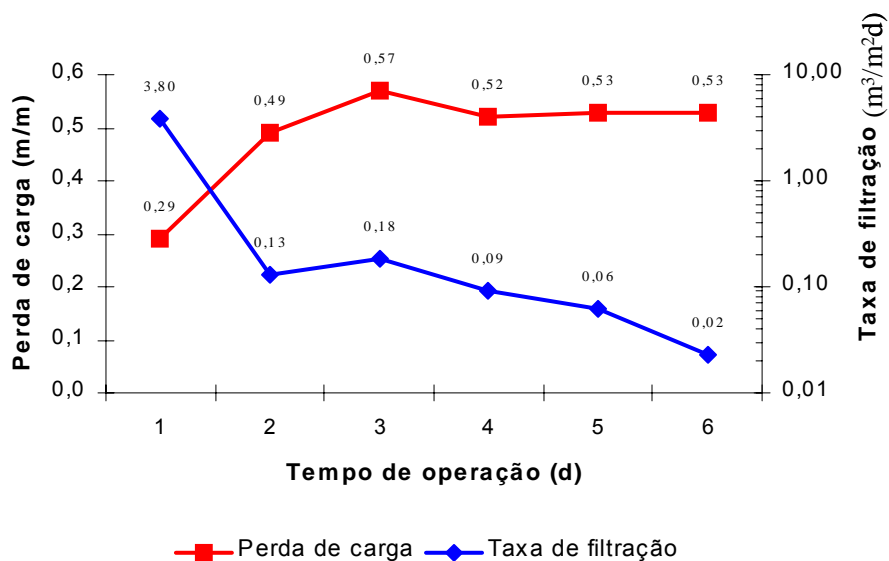


Figura 5.10 Evolução da perda de carga em função da taxa de filtração para a coluna 1 no primeiro ensaio, com carga hidráulica de 5,5 cm

A taxa de filtração no primeiro ensaio para a coluna 1 com carga hidráulica de 5,5 cm variou de 3,80 m³/m²d para 0,02 m³/m²d em 7 dias.

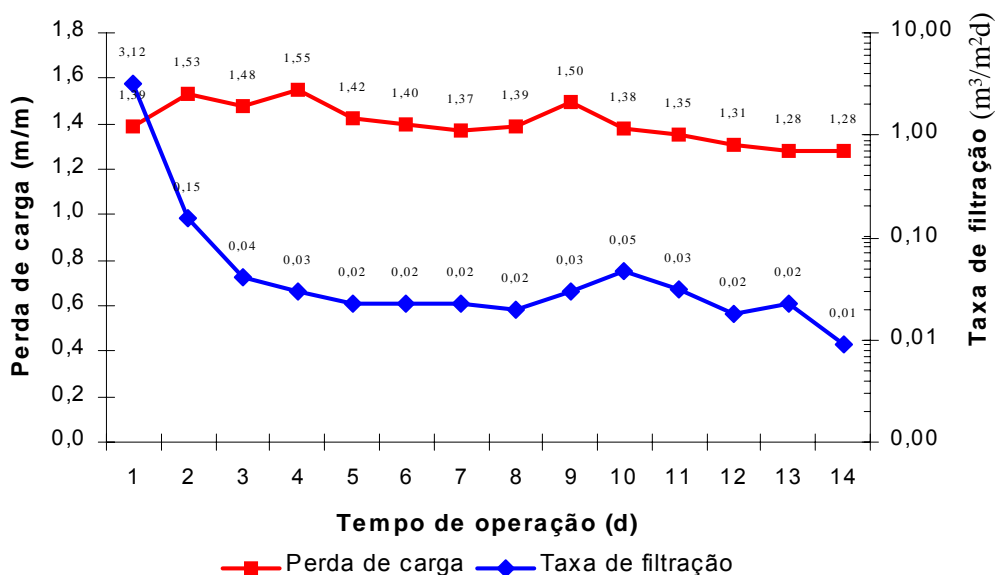


Figura 5.11 Evolução da perda de carga em função da taxa de filtração para a coluna 2 no segundo ensaio com carga hidráulica de 16,5 cm

A taxa de filtração no segundo ensaio para a coluna 2 com carga hidráulica de 16,5 cm variou de 3,12 m³/m²d para 0,01 m³/m²d. A partir do quinto dia de operação a taxa ficou praticamente constante no valor de 0,02 m³/m²d, com poucas variações, isso nos leva a crer que esse valor está na média da estabilidade. Nessa faixa existe um equilíbrio entre a auto-depuração e a colmatagem do meio.

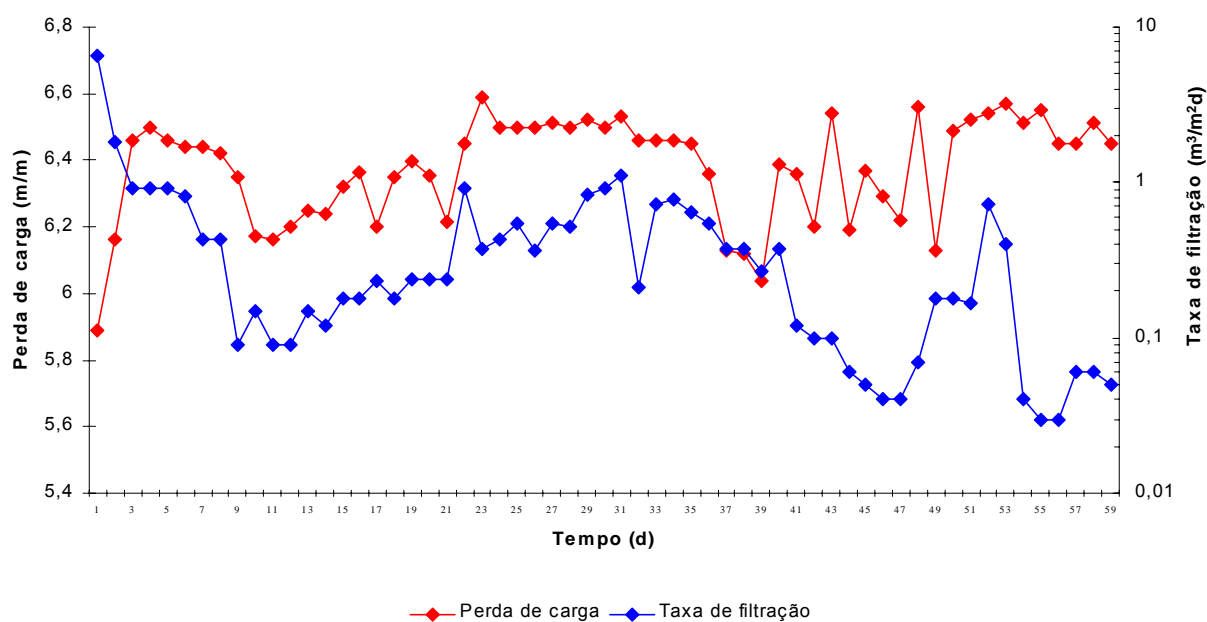


Figura 5.12 Evolução da perda de carga em função da taxa de filtração para a coluna 2 no terceiro ensaio com carga hidráulica de 66,5 cm

A taxa de filtração no terceiro ensaio para a coluna 2 com carga hidráulica de 66,5 cm, variou de 6,51 m³/m²d para 0,05 m³/m²d. Na Fig. 5.12 observa-se ainda que a perda de carga aumenta seu valor, fica um tempo com o valor elevado e torna a baixar, isso ocorrendo várias vezes com o passar do tempo, da mesma maneira que a taxa oscila constantemente. Esse fato provavelmente está associado à degradação biológica da matéria orgânica retida nos primeiros centímetros do sedimento das colunas.

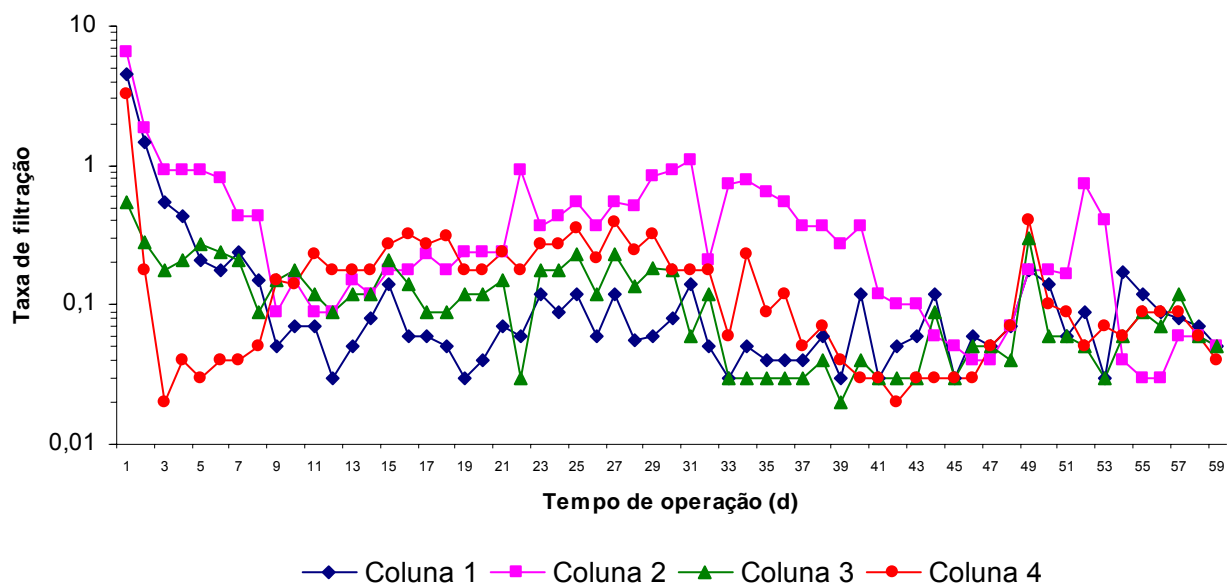


Figura 5.13 Taxa ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$) em todas as colunas com uma carga hidráulica média de 70 cm aplicada de julho a dezembro de 2005.

Na Fig. 5.13, observa-se o comportamento da taxa ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$) para todas as colunas no terceiro ensaio. Devido à colmatação a taxa inicia com um valor mais alto e no decorrer do experimento diminui, ficando com valores próximos de zero.

Pode ainda ser observado no gráfico acima que as colunas 1 e 2 apresentam taxas iniciais mais elevadas que as colunas 3 e 4.

5.2.2 Estimativa do coeficiente de permeabilidade das amostras de solo (K_p)

Foi calculado o K_p (coeficiente de permeabilidade), a partir da equação de Darcy; utilizando-se valores de taxas de filtração obtidas e cargas hidráulicas aplicadas em cada coluna, além do valor da espessura da camada de solo.

Os valores mostraram uma redução do coeficiente de permeabilidade do meio poroso em relação ao final de cada ensaio, devido à colmatação.

Por exemplo, entre colunas de sedimentos diferentes, no primeiro ensaio a coluna 1 obteve um K_p inicial de 20,73 m/d e um K_p final de 0,125 m/d. E a coluna 4 obteve um K_p inicial de 3,05 m/d e final de 0,025 m/d.

No segundo ensaio a coluna 1 obteve um Kp inicial de 5,78 m/d e final de 0,055 m/d e a coluna 4 obteve um Kp inicial de 0,115 m/d e final de 0,022 m/d.

No terceiro ensaio a coluna 1 obteve um Kp inicial de 0,16 m/d e final de $1,93 \times 10^{-3}$ m/d e a coluna 4 obteve um Kp inicial de 0,115 m/d e final de $1,28 \times 10^{-3}$ m/d.

5.2.3 Ensaio de Permeabilidade

Para efeito de comparação com as colunas, foi realizado o ensaio de permeabilidade em permeâmetro, com o sedimento da margem esquerda e direita.

Mesmo tendo sido impossível o preenchimento da coluna do permeâmetro com amostras indeformadas, como foi realizado no sistema piloto; estes dois ensaios foram comparados e apresentam resultados bastante similares para o Kp inicial.

Os valores desse teste foram comparados com o Kp inicial (1º dia de experimento) do primeiro ensaio, por se tratar do mesmo sedimento das margens, sem grandes interferências, como o segundo e terceiro ensaios.

Nesse teste em permeâmetro foi encontrado na margem direita, um coeficiente de permeabilidade (Kp) com valor de 18,32 m/d e na margem esquerda um valor de 4,06 m/d para uma carga hidráulica de 21,3 cm. Esse resultado apresenta um valor aproximado aos valores encontrados nas colunas no primeiro ensaio, conforme pode ser observado na Tabela 5.5 a seguir.

Tabela 5.5 Estimativa do Kp do sedimento das margens e das colunas 1 e 3 no primeiro ensaio

Kp (m/d)	Permeâmetro	Carga hidráulica (cm)	Kp (m/d)	Colunas	1º ensaio	Carga hidráulica (cm)
Sedimento da margem direita	18,32	21,3	Coluna 1 (margem direita)	Kp inicial	20,73	5,5
				Kp final	0,125	
Sedimento da margem esquerda	4,06		Coluna 4 (margem esquerda)	Kp inicial	3,05	20,3
				Kp final	0,025	

Não foi realizada a comparação com os ensaios de infiltração *in loco* porque os valores estavam muito elevados devido à dispersão lateral.

5.3 Análise de qualidade da água antes e após a passagem pelas colunas

5.3.1 Parâmetros físico-químicos

Para verificar a eficiência de filtração das colunas, amostras de água bruta foram coletadas do reservatório superior do piloto e na saída da mangueira de cada coluna. Foram realizadas cinco análises em três semanas, no período de 23/06/04 a 12/07/04, e de julho a dezembro foram realizadas 21 análises no total.

Os valores de pH das colunas foram superiores ao da água bruta (média de 6,5 a 7,0 na água bruta e de 7,0 a 8,5 nas colunas) (Fig. 5.14), inclusive nas análises realizadas posteriormente ao gráfico, ou seja, de julho a dezembro (**Apêndice E- Qualidade da água**). Isso provavelmente esteve associado ao pedregulho utilizado para o preenchimento das colunas, pois o mesmo foi retirado das areias da praia da Armação, em frente à ETA da Lagoa do Peri, e provavelmente contém uma porção elevada de calcário proveniente de conchas, o que fez o pH se tornar elevado nas colunas.

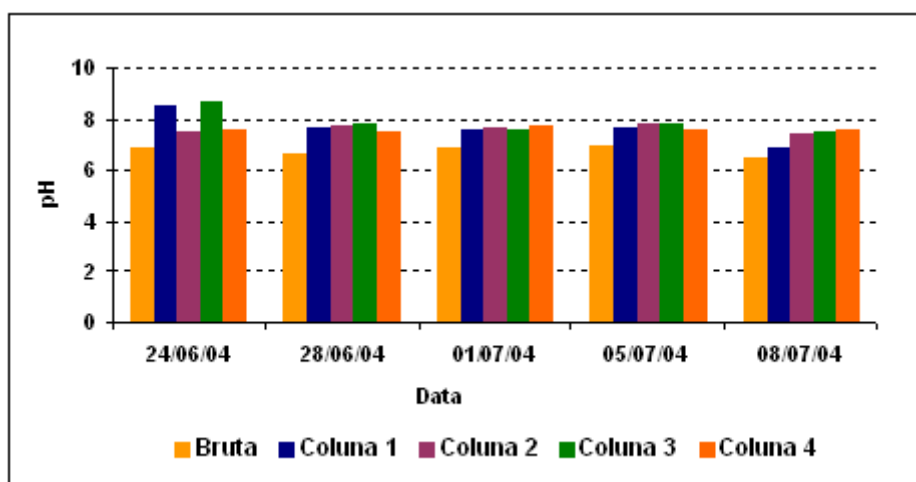


Figura 5.14 Valores de pH antes e após passagem pelas colunas

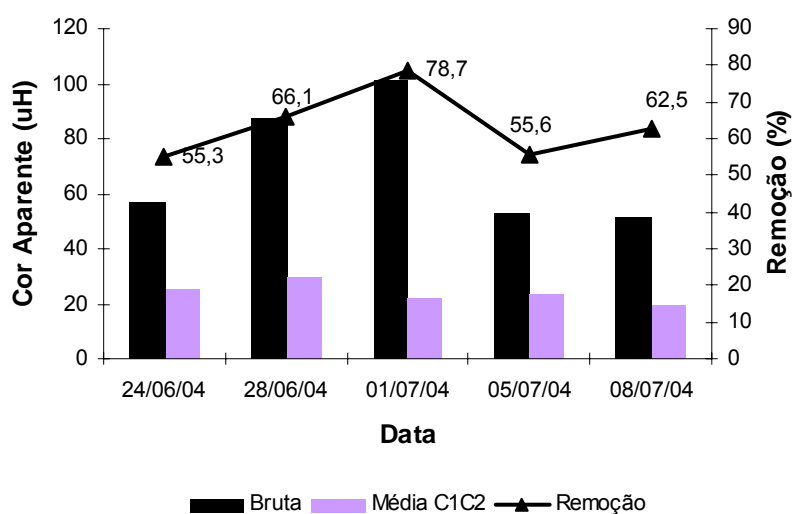


Figura 5.15 Valores de cor aparente antes e após a passagem da água pelas colunas C1C2

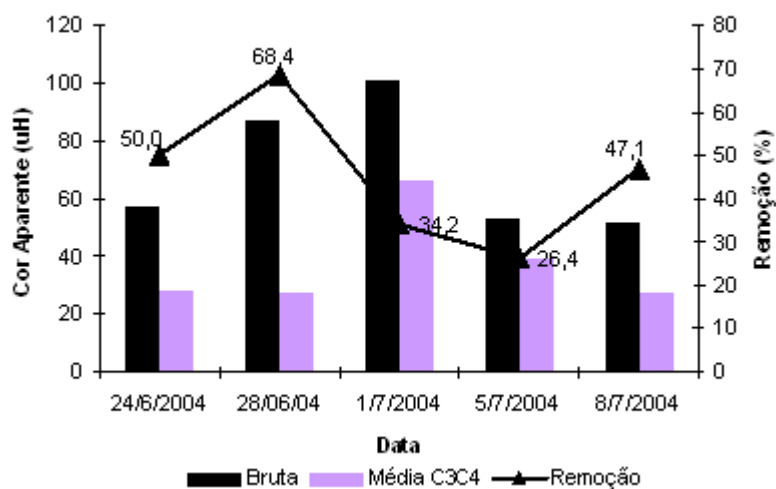


Figura 5.16 Valores de cor aparente antes e após passagem da água pelas colunas C3C4

Os valores de cor aparente após a passagem pelas colunas foram reduzidos (Fig. 5.15 e 5.16). Os resultados mostraram valores abaixo de 30 uH para a média C1C2 (coluna 1 e coluna 2), com uma remoção de até 78,71 %. e valores abaixo de 70 uH para a média C3C4 (coluna 3 e coluna 4), com uma remoção de até 68,39 %.

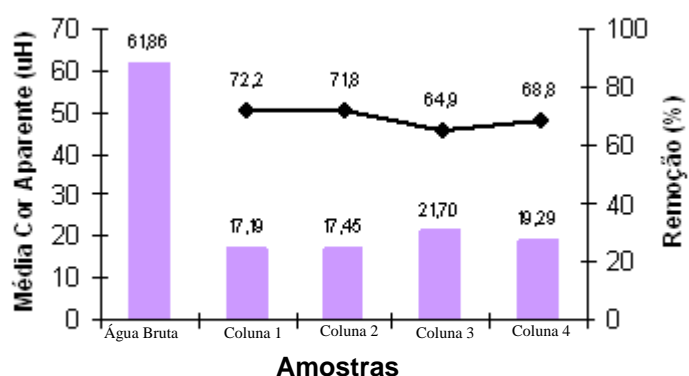


Figura 5.17 Média dos valores de Cor Aparente (uH) encontrados nos meses de julho à dezembro de 2004

Na média de remoção de cor aparente para as análises realizadas de julho a dezembro foi encontrado um valor de remoção de até 72,2 % na coluna 1. As colunas 1 e 2 obtiveram uma remoção de cor aparente um pouco mais alta que as colunas 3 e 4 (Fig. 5.17), talvez devido à menor presença de matéria orgânica e materiais húmicos nesse sedimento.

Como descrito na revisão bibliográfica deste trabalho, o solo das margens, que são formadas em um longo período de tempo, variam em tamanho e podem conter materiais orgânicos na superfície das partículas como resultado do intemperismo. Também contêm uma quantidade relativamente grande de materiais argilosos eletricamente reativos. Provavelmente, por esse motivo verificou-se a menor remoção de cor nas colunas 3 e 4, que continham sedimentos com maior quantidade de materiais húmicos.

Os valores de turbidez também foram reduzidos, porém com resultados mais significativos (maior remoção) para as colunas 3 e 4 (Fig. 5.19 e 5.20), o que mostra que uma certa quantidade de sólidos ficaram retidos no primeiro trecho de cada coluna.

Conforme as Fig. 5.18 e 5.19 abaixo, os resultados mostraram valores abaixo de 6 uT para a média C1C2 (coluna 1 e coluna 2) e valores abaixo de 4 uT para a média C3C4 (coluna 3 e coluna 4).

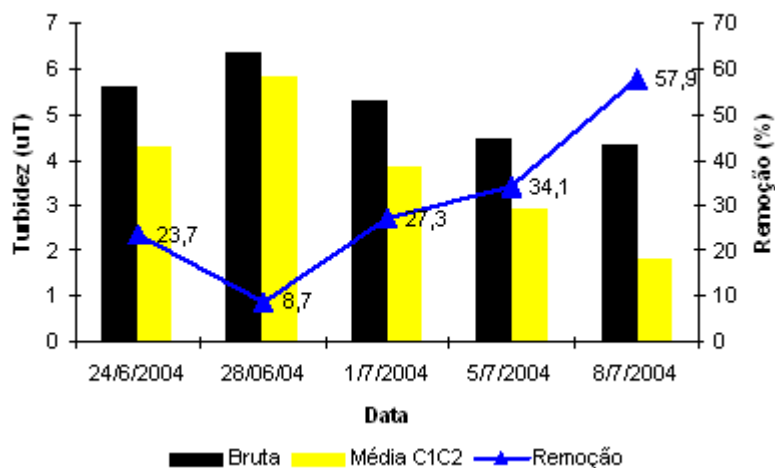


Figura 5.18 Valores de turbidez antes e após a passagem da água pelas colunas C1C2

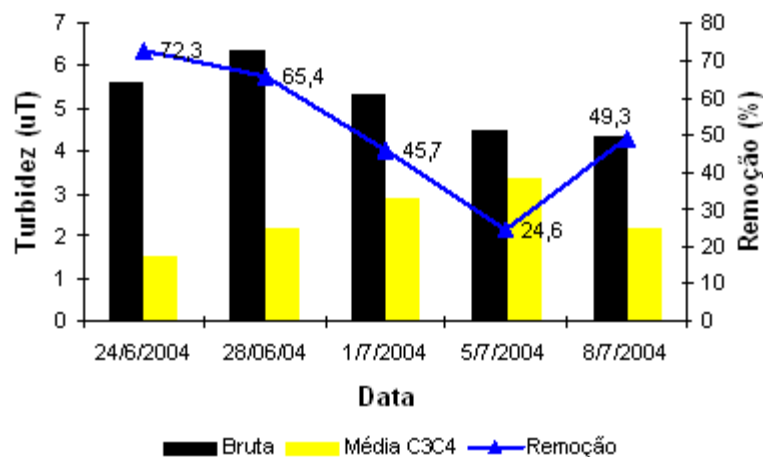


Figura 5.19 Valores de turbidez antes e após a passagem da água pelas colunas C3C4.

As colunas 3 e 4 obtiveram melhor desempenho em termos de turbidez; o mesmo deveria ocorrer com a cor aparente e clorofila *a*, como acontece

geralmente em filtros lentos de areia. A correlação entre esses parâmetros também não foi alcançada nas colunas 1 e 2.

Nas análises realizadas de julho a dezembro, a remoção de turbidez também foi um pouco mais alta nas colunas 3 e 4 (Fig. 5.20). Provavelmente essa remoção está associada à quantidade de material orgânico nesse sedimento e à presença de microrganismos, que possivelmente, eliminaram o fitoplâncton presente nas águas da Lagoa do Peri.

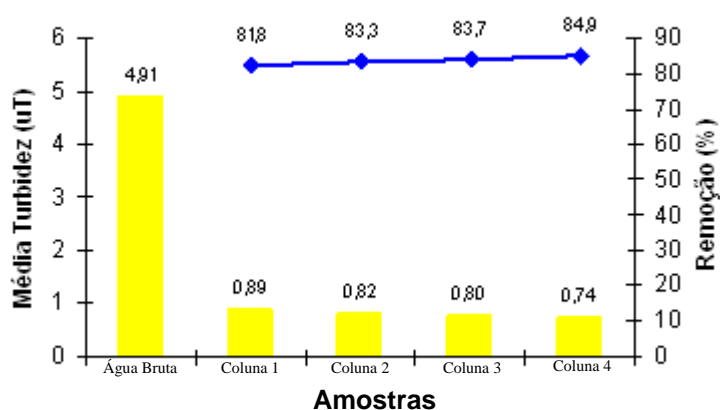


Figura 5.20 Média dos valores de Turbidez (uT) encontrados nos meses de julho a dezembro de 2004

5.3.2 Parâmetros biológicos

a) Clorofila *a*

Para o segundo ensaio foi realizada somente uma análise de clorofila *a*, posteriormente às demais análises. A coleta e conservação das amostras aconteceu no último dia da medição da taxa (12/07/04), devido às dificuldades encontradas para realização dessas análises em conjunto com as demais. A partir de agosto foram realizadas análises trimestrais de clorofila *a* e mensais de contagem de Fitoplâncton, a partir do mês de julho.

Devido ao volume insuficiente das amostras obtidas no último dia da medição da taxa (12/07/04) no segundo ensaio, foram unidas as alíquotas da coluna 1 e coluna 2 (C1C2), e as alíquotas das colunas 3 e 4 (C3C4), obtendo-

se 03 amostras e seus respectivos valores de teor de algas medidos em clorofila-a, conforme a Tabela 5.6, a seguir:

Tabela 5.6 Análise da clorofila a

Amostra	Procedência	Clorofila a (µg/L)
1	Bruta	11,16
2	C1C2	N.D.
3	C3C4	5,58

*N.D – Não detectado

Além disso, as outras análises de cor, turbidez, etc. nessa data, também não foram realizadas por esse motivo, prejudicando a interpretação dos resultados. Sabe-se que em função dos valores acima medidos, o piloto removeu uma certa quantidade de algas.

Nas análises de clorofila a realizadas de agosto a dezembro encontrou-se uma correlação com a turbidez, ou seja, valores de remoção mais elevados nas colunas 3 e 4 (Tabela 5.7 e Fig. 5.21).

Tabela 5.7 Concentração da clorofila a na água bruta e nas colunas no período de agosto a dezembro/2004

Clorofila a (µg/L)	Média	Valor Máximo	Valor Mínimo
Água Bruta	15,74	33,48	2,79
Coluna 1	6,18	25,11	0
Coluna 2	7,79	30,69	0
Coluna 3	5,98	19,53	0
Coluna 4	5,78	19,53	0

Segundo a Tabela 5.7, a água bruta teve um valor médio de 15,74 µg/L e nas colunas os valores médios ficaram entre 5,78 µg/L na coluna 4 e 7,79 µg/L na coluna 2. Em todas as colunas foi encontrado um valor mínimo de 0 µg/L na concentração de clorofila a (µg/L), o que não ocorreu na água bruta, com um valor mínimo de 2,79 µg/L.

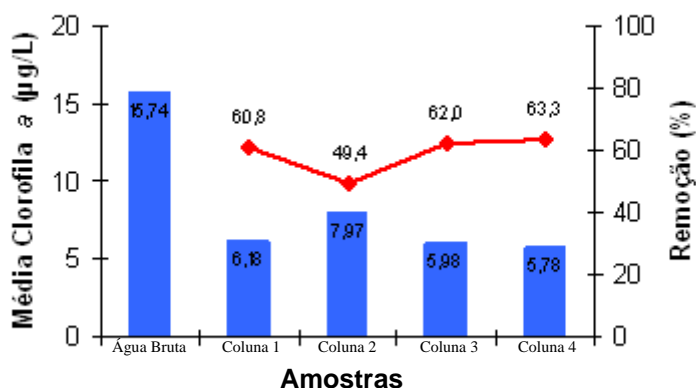


Figura 5.21 Média da remoção de clorofila a do período de 04/08/2004 a 08/12/2004

A coluna 4 foi a que obteve uma remoção maior do que as outras colunas, de 63,3 %, seguida pela coluna 3, com 62 %. Conforme anteriormente referenciado, a remoção deve ter sido maior devido à maior quantidade de matéria orgânica nesse sedimento, que removeu uma maior quantidade de fitoplâncton presente em grande quantidade nas águas da Lagoa do Peri.

b) Contagem de fitoplâncton

Foi realizada a contagem de fitoplâncton das datas de 20/08/2004, 31/09/2004, 20/10/2004, 23/11/2004 e 08/12/2004. As amostras foram coletadas e conservadas em formol até o momento da contagem. As análises foram realizadas em microscópio invertido com câmara de Sedgwick- Rafter. As amostras foram fixadas em formol 3%. Foi utilizado lugol antes da análise microscópica para aumentar o contraste.

Na Fig. 4.22 pode-se observar pela média dos valores da contagem de fitoplâncton, que o mesmo foi removido consideravelmente (quase 100%) durante o experimento de colunas, nos meses de agosto a dezembro de 2004. Isso demonstra que a filtragem com o próprio sedimento das margens da lagoa é um excelente método de remoção de cianobactérias.

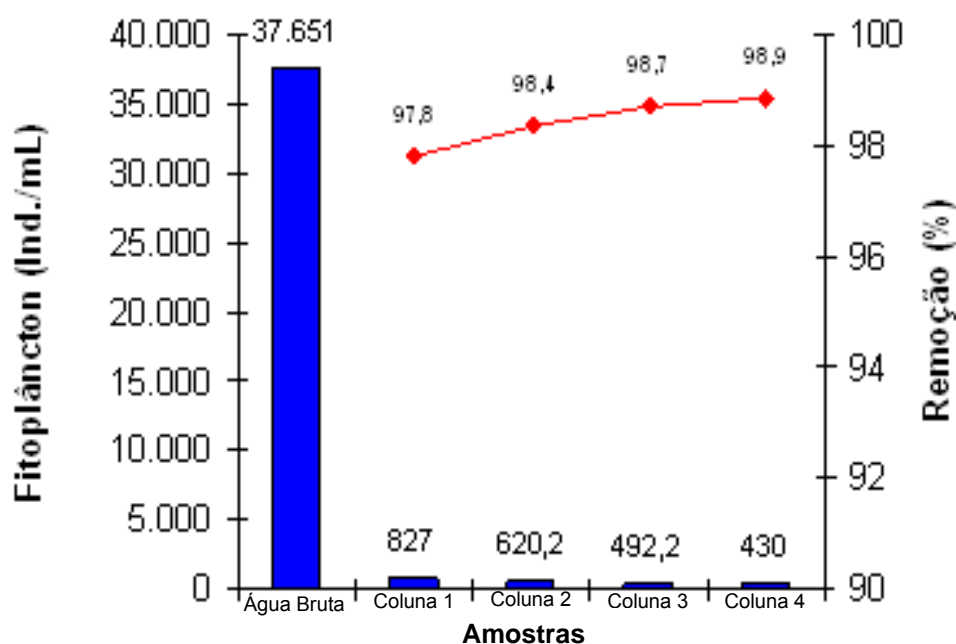


Figura 5.22 Média da remoção de fitoplâncton do período de agosto a dezembro de 2004

No **Anexo A** (Contagem de Fitoplânctons) podem ser encontrados os laudos de contagem de fitoplânctons, que demonstra uma quantidade mais elevada dos mesmos na água bruta, nas amostras coletadas em agosto e setembro. Essas contagens foram realizadas posteriormente às outras, e por algum motivo tiveram um resultado mais elevado. Segundo a bióloga responsável pelos laudos, isso ocorreu devido ao estado de conservação das amostras.

Porém, mesmo nas amostras que obtiveram uma menor quantidade de indivíduos/mL observa-se um valor de cianobactérias mais elevado que 10.000 indivíduos/mL. Num valor dessa magnitude, segundo a legislação, há a necessidade de realização de análises semanais no manancial.

A média da remoção de cianobactérias nos meses de agosto a dezembro (Fig. 5.23) atingiu até 99,2 % na coluna 4.

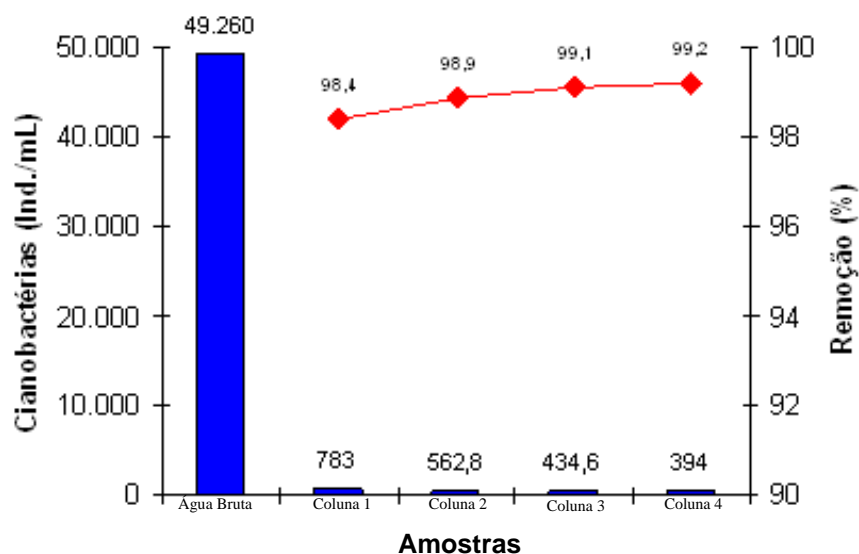


Figura 5.23 Média da remoção de cianobactérias do período de agosto a dezembro de 2004

5.4 Análises do sedimento das colunas

Foram realizadas análises da matéria orgânica e microscopia do sedimento das colunas após os três ensaios, e comparação com o sedimento da Lagoa do Peri.

5.4.1 Matéria Orgânica

Pesquisas realizadas nos últimos 25 anos na Europa e nos últimos 5 anos nos Estados Unidos demonstram que a filtração em margem é uma tecnologia efetiva de remoção e transformação, não somente de patogênicos, mas também de matéria orgânica e outros traços orgânicos (DREWES *et al.*, 2003). Por esse motivo foi realizada a análise de matéria orgânica das colunas do piloto, com resultados demonstrados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 Porcentagem de matéria orgânica do sedimento

Matéria Orgânica (%)	0-2 cm	2-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Coluna 1	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Margem Direita	0,3	0,07	0,54	0,28	0,14
Coluna 3	0,06	0,04	0,04	0,07	0,71
Margem Esquerda	0,06	0,23	0,12	1,27	0,90

Observa-se na Tabela 5.8 que existe uma porcentagem menor de matéria orgânica nas colunas do que nas margens da lagoa, talvez devido à degradação biológica no interior das mesmas.

5.4.2 Microscopia

Foi realizada a microscopia nas colunas com o objetivo de fotografar o fitoplâncton presente nas colunas após seis meses de experimento e comparar com o sedimento das margens da lagoa. Verificando sua **presença** ou **ausência** em determinadas camadas das colunas.

Foram realizadas fotografias da coluna 1 (sedimento da margem direita), coluna 3 (sedimento da margem esquerda) e o sedimento fresco da camada superior das duas margens. Foram separadas alíquotas do sedimento presente na camada superior das colunas (0-2 cm), da próxima camada (2-5 cm) e da última camada (20-30 cm).

Por meio da observação microscópica, verificou-se que nas camadas superiores o fitoplâncton ficou retido, podendo se observar nas fotos diversas microalgas e fitoplâncton, não identificadas aqui, pois este não era o objetivo desta análise nem deste trabalho. Foi encontrado somente matéria orgânica degradada na última camada.

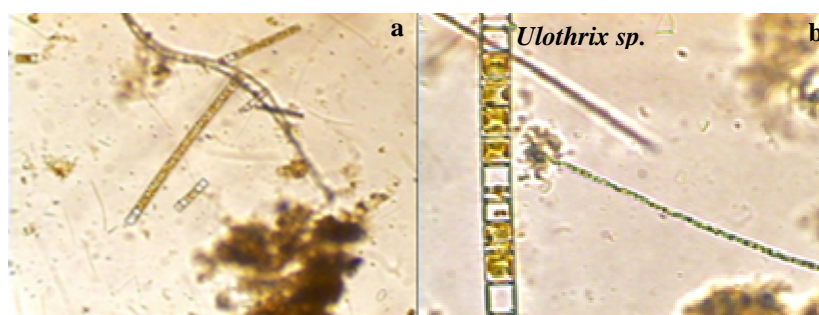


Figura 5.24 Fotos da coluna 1, de 0-2 cm (aumento 400X)

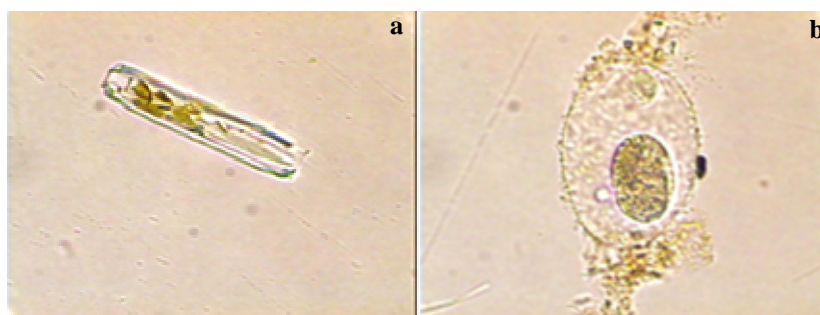


Figura 5.25. Fotos da coluna 1, de 2-5 cm (aumento 400X)

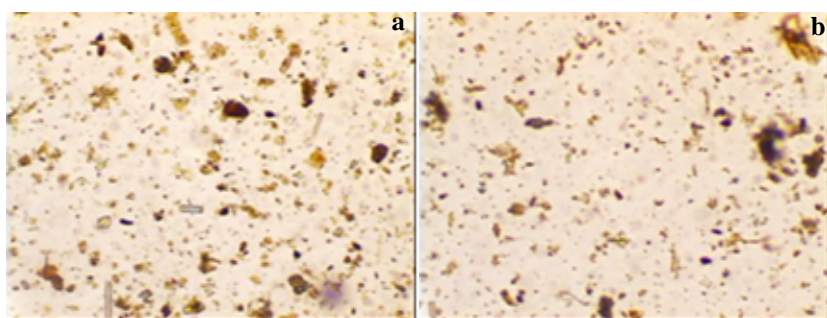


Figura 5.26. Fotos da coluna 1, de 20-30 cm (aumento 400X)

Na coluna 1, conforme pode ser observado na Fig. 5.24, a quantidade de fitoplâncton encontrado na camada entre 0 e 2 cm foi maior que no restante da coluna. Nessa camada, verificou-se, inclusive, a presença de diversas cianobactérias, como a *Cylindrospermopsis* e outras.

Na camada entre 2 e 5 cm (Fig. 5.25) a quantidade de fitoplâncton encontrado foi menor, o que demonstra que a maioria do fitoplâncton ficou retida nos primeiros 2 cm do sedimento das colunas. Por sua vez, na camada de 20 a 30 cm (Fig. 5.26) foi verificada a ausência de fitoplâncton, chegando-se à conclusão de que após 20 cm da camada de sedimento natural da lagoa, ocorre a total eliminação do fitoplâncton, provavelmente, pela degradação biológica e ausência de luminosidade.

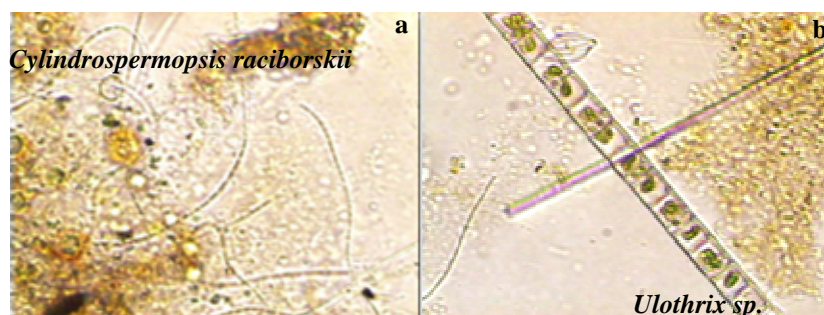


Figura 5.27 Fotos da coluna 3, de 0-2 cm (aumento 400X)

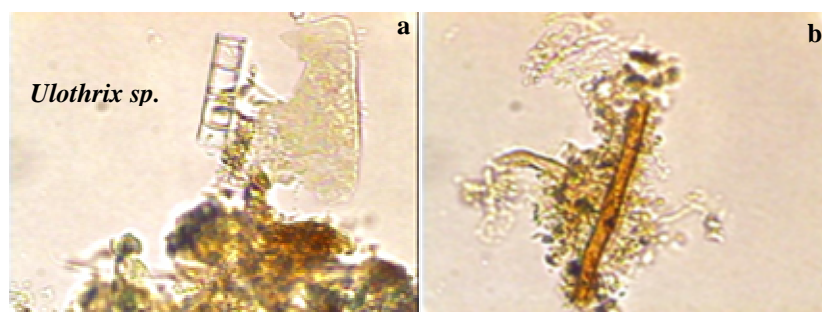


Figura 5.28. Fotos da coluna 3, de 2-5 cm (aumento 400X)

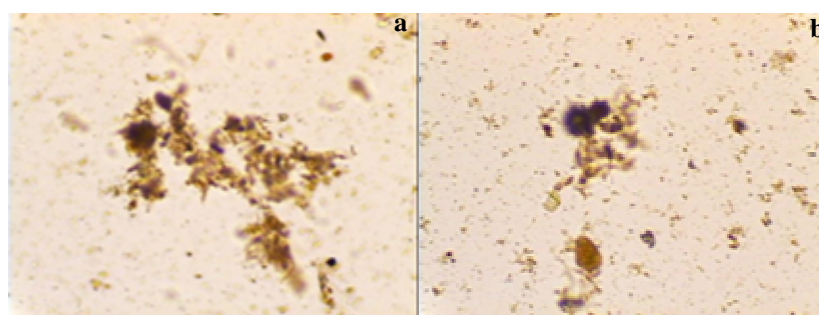


Figura 5.29. Fotos da coluna 3, de 20-30 cm (aumento 400X)

O mesmo resultado para a presença de fitoplâncton na coluna 1 foi encontrado na coluna 3, conforme pode ser observado nas Fig. 5.27, 5.28 e 5.29.

Verificou-se que na camada de 0-2 cm (Fig. 5.27) a quantidade de fitoplâncton encontrado foi maior. Na camada de 2-5 cm (Fig. 5.28) a

quantidade de fitoplâncton encontrado foi menor, e na camada de 20 a 30 cm (Fig. 5.29) foi verificada a ausência de fitoplâncton.

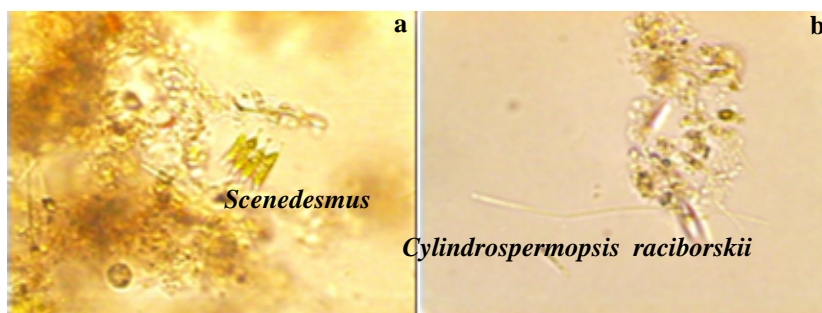


Figura 5.30 Sedimento da margem direita (aumento 400X)

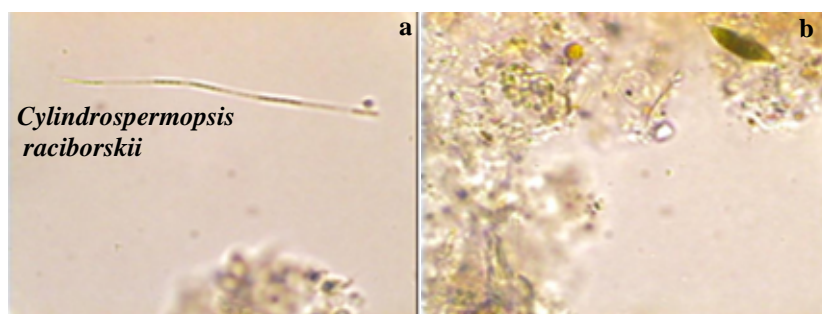


Figura 5.31 Sedimento da margem esquerda (aumento 400X)

Na camada superior do sedimento retirado das margens da lagoa para ser comparado com o sedimento retirado das colunas, após seis meses de experimento, pode ser observada a presença de fitoplâncton, numa densidade equivalente à encontrada no sedimento das colunas (Fig. 5.30 e 5.31). Esse local, por situar-se nas primeiras camadas do sedimento, é justamente onde o fitoplâncton fica retido, além disso, ainda existe a presença de luz solar, imprescindível para o crescimento desses organismos. Por esse motivo, foi encontrada uma quantidade elevada de fitoplâncton nesse local.

5.4.3 Sondagem da área de implantação dos poços

Foi realizada a sondagem dos piezômetros 2 e 9, cuja localização pode ser observada na Fig. 5.33 do item 5.4.4. Por meio da sondagem, observou-se que o sedimento da Lagoa do Peri é composto, principalmente, por areia de granulometria fina, seguida de areia de granulometria média, e de um

sedimento mais fino (areia e silte), como pode ser observado no Perfil Estratigráfico na Fig. 5.32.

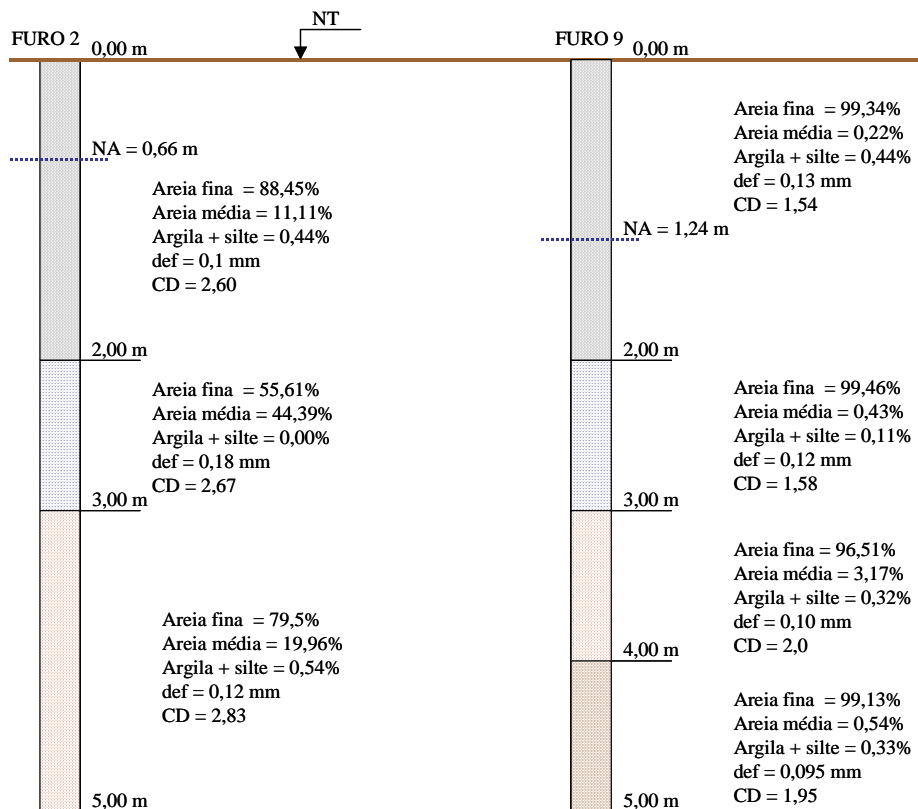


Figura 5.32 Perfil Geotécnico dos Poços Piezométricos 2 e 9

Verificando-se que o sedimento é composto, em sua maioria, por areia de granulometria fina a média, pode-se concluir que o mesmo tem a característica ideal para a implantação de poços de filtração em margem, pois apresenta uma excelente porosidade e permeabilidade. Além disso, possui a característica de reter o fitoplâncton, essencial para cumprir com os objetivos da implantação da filtração em margem nesse local.

5.4.4 Implementação de piezômetros e poços

Foram implantados 21 pontos de medida de nível do lençol, sendo 4 pontos na Lagoa do Peri, 2 pontos no Rio Sangradouro, 12 piezômetros e 3 poços de captação de água. A localização desses pontos pode ser melhor entendida na Fig. 5.33.



Figura 5.33 Localização dos pontos de medida de nível do lençol freático da Lagoa do Peri



Figura 5.34 Localização do poço principal e poços de controle

Os poços 20 e 21 são poços de proteção. A água dos mesmos é bombeada e jogada no rio Sangradouro, para evitar que a água do lençol interfira no pré-tratamento daquela proveniente da lagoa, que é o objetivo principal da implantação do método no local. O poço 19 faz a captação da água pré-tratada da lagoa, e a envia (1000 L/h) diretamente ao laboratório, para a realização de diversas pesquisas (Fig. 5.34 e 5.35). Os demais piezômetros no entorno são utilizados para monitoramento do nível do lençol freático do local.

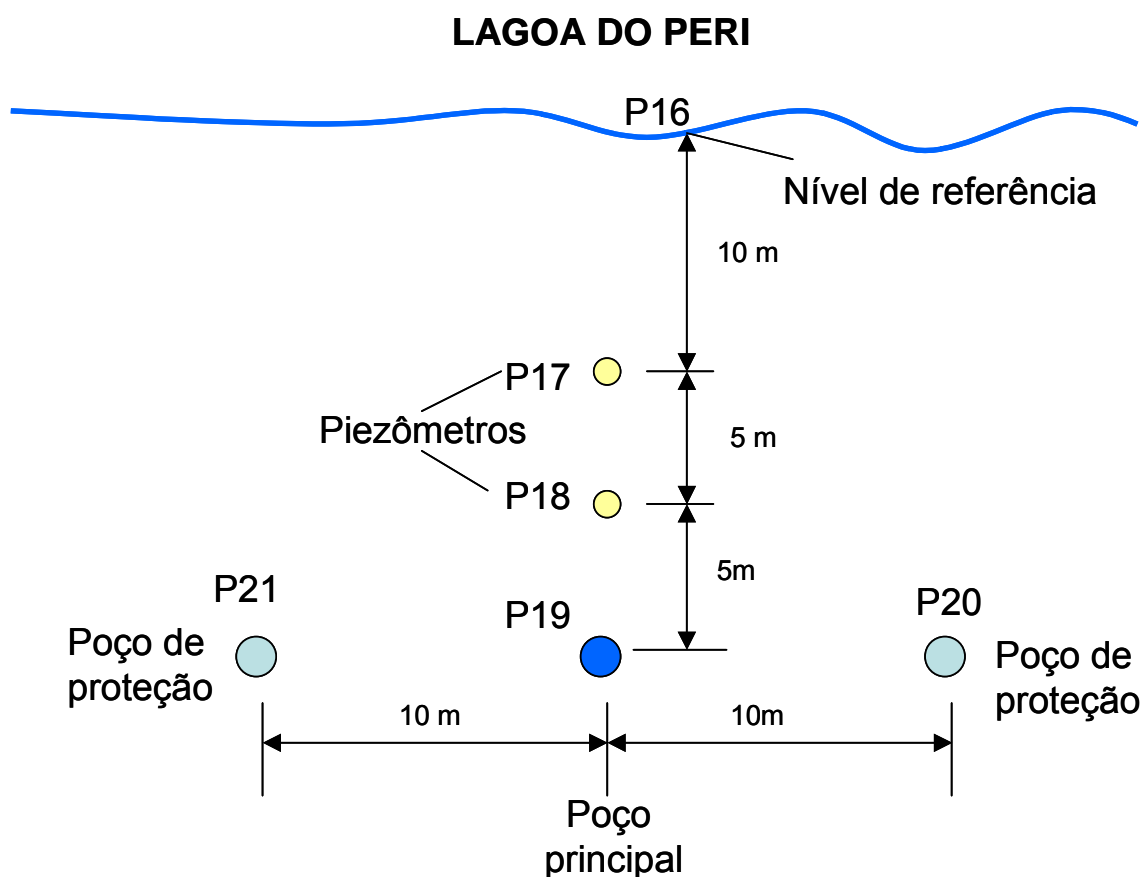


Figura 5.35 Esquema de localização dos poços em relação à lagoa

Observando a Fig. 5.45, vê-se que o poço principal (19) está localizado no centro dos poços de proteção ou controle, eqüidistantes 10m. O p18 é um ponto distanciado 5m do poço principal, e mais 5 metros de distância em direção a lagoa encontra-se o p17. Ambos os piezômetros (p18 e p17) foram implantados para medição do nível e monitoramento do comportamento do poço principal durante sua operação. O p16 é um ponto de medição de nível localizado nas margens da Lagoa do Peri.

5.4.5 Medição do nível do lençol freático da Lagoa do Peri e verificação do escoamento

A partir da medição do nível da água dos pontos, do nível da lagoa e da cota dos pontos foi determinado o escoamento da água no lençol do local, sem o bombeamento dos poços. Como pode ser observado na Fig. 5.36, o escoamento ocorre sempre em direção ao Rio Sangradouro.

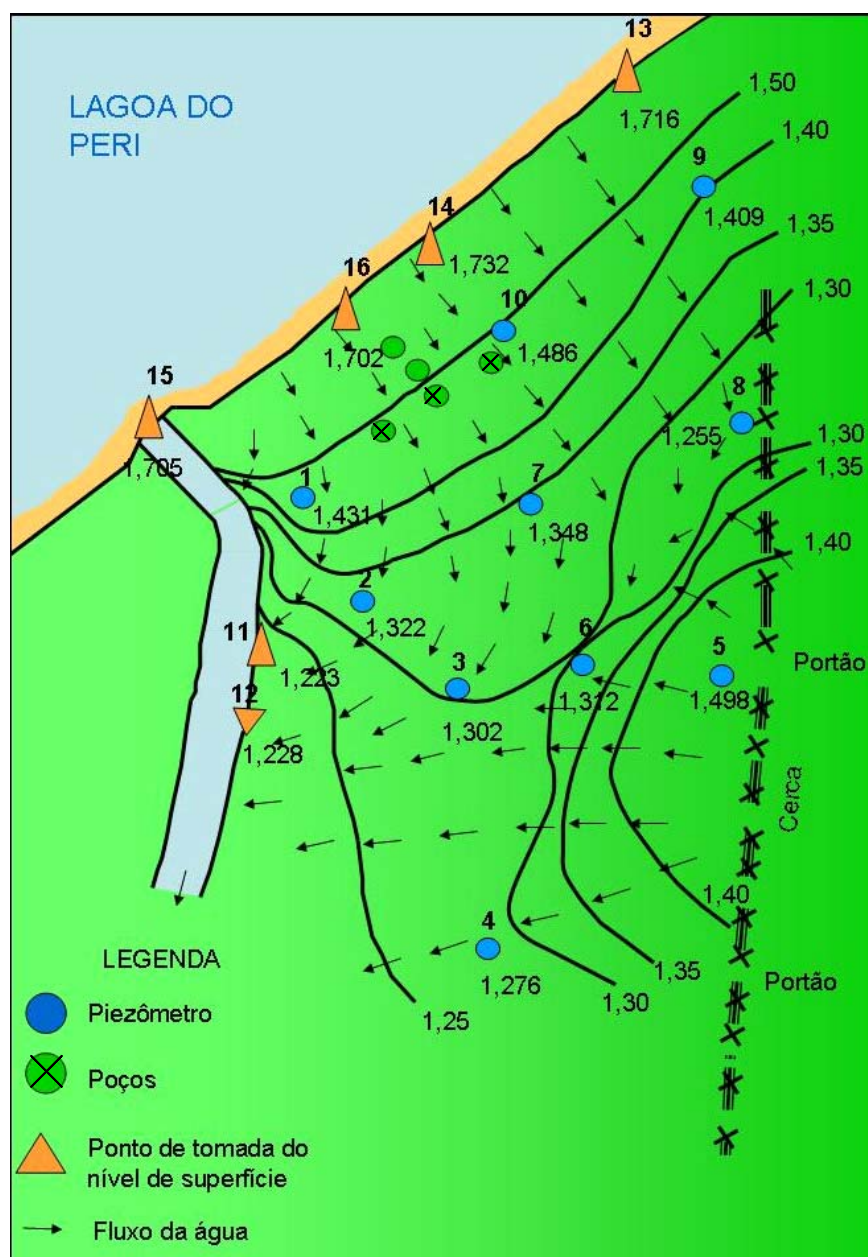


Figura 5.36 Localização dos pontos de medida de nível do lençol freático da Lagoa do Peri

O escoamento hídrico no local de estudo se dá no sentido da lagoa em direção ao canal Sangradouro. As águas da lagoa e da chuva chegam ao lençol por infiltração, e escoam em direção ao canal.

Esse levantamento foi muito importante para implantação da filtração em margem nesse local, pois o objetivo principal era a remoção de fitoplâncton pelo método de filtração em margem. Como é a água da lagoa que escoam em direção ao canal, passando pelo local de implantação dos poços, as impurezas (e principalmente o fitoplâncton) da mesma podem ser eliminadas pelo solo.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os dados coletados durante os experimentos realizados permitiram concluir que:

- A taxa de infiltração na margem direita do canal é significativamente maior do que taxa de infiltração na margem esquerda do canal, devido, principalmente, a maior quantidade de matéria orgânica no solo da margem esquerda e à construção de uma mureta de contenção da lagoa.

- A colmatção do solo ocorreu principalmente no trecho 0-2 (primeiros 2 centímetros) das colunas.

- Nas colunas 3 e 4 (margem esquerda), as perdas de carga foram maiores do que as colunas 1 e 2; mostrando que o sedimento da margem esquerda apresenta uma menor permeabilidade, provavelmente devido à elevada quantidade de matéria orgânica presente nesse solo e à construção de uma mureta de contenção da lagoa, o que interferiu diretamente na permeabilidade desse sedimento.

- As colunas 3 e 4 foram as que obtiveram o maior desempenho na remoção de turbidez. Porém, as colunas 1 e 2 foram as que obtiveram maior desempenho em termos de remoção de cor e clorofila *a*, provavelmente devido às diferentes propriedades do solo (composição, potencial redox, etc.) em cada margem do canal.

- No sedimento das colunas após seis meses de experimento, observou-se uma quantidade de matéria orgânica menor quando comparada com a matéria orgânica das margens da lagoa, isso ocorreu, provavelmente devido à degradação biológica no interior das colunas.

- A média de remoção nos meses de agosto a dezembro de 2004, no sistema piloto foi elevada. Obteve remoção de fitoplâncton, até 98,9%; clorofila *a*, até 63,3 % e cianobactérias, até 99,2%. Essa remoção significativa do fitoplâncton ocorre devido à retenção desse material pela areia e a ausência de luminosidade no interior das colunas.

- A retenção maior ocorre nos primeiros 5 cm da coluna. Sendo que, nas fotografias realizadas no sedimento do interior das colunas, observou-se uma quantidade maior de fitoplânctons retidos nas primeiras camadas das colunas de 0-2 cm e de 2-5 cm.

- O escoamento do lençol freático do entorno da Lagoa do Peri ocorre no sentido da Lagoa para o Rio Sangradouro.

O movimento da água através do solo ocasiona a remoção e redução de poluentes, devido aos processos naturais de tratamento que ocorrem no meio subterrâneo: filtração, adsorção, decomposição biológica de compostos orgânicos, diluição, dispersão, precipitação e outros. Em função desses fatores e das diversas variáveis envolvidas, os dados experimentais obtidos neste trabalho constituem-se uma pequena contribuição para o conhecimento da filtração em margem no entorno da Lagoa do Peri. Fica evidente a necessidade de uma maior investigação e pesquisa adicional nesse importante manancial para o abastecimento de água na Ilha de Santa Catarina.

Portanto, recomendam-se para trabalhos futuros, as seguintes sugestões:

- Realizar ensaios de infiltração in loco com dois tubos concêntricos, devido ao problema da dispersão lateral; e em outras áreas das margens da lagoa, para confirmar o real motivo da diferença entre as duas margens do rio Sangradouro.

- Faz-se necessário períodos mais longos de ensaios com carga hidráulica constante, para confirmar a expectativa de taxas de filtração equilibradas que impliquem em menor colmatção.

- Realização de ensaios de permeabilidade em permeâmetro de nível constante com amostras indeformadas do solo das margens da lagoa.

- Recomenda-se pesquisar sobre a qualidade e composição do solo das margens para compreender os processos (filtração, biodegradação, etc) que podem ocorrer em função das reações do meio em contato com certos tipos de algas.

- Continuidade da pesquisa em filtração em Margem para obtenção de uma água isenta de fitoplânctons, utilizando esse método na Lagoa do Peri, já que até o momento pode ser observada uma remoção adequada do fitoplâncton.

7 REFERÊNCIAS

ÁGUA ON LINE (Revista digital da Água, do Saneamento e Meio Ambiente)
Novo sistema de filtração melhora recursos hídricos. JOSH WEIS, Johns Hopkins University, Disponível em: <<http://www.aguaonline.com.br/materias.php?id=1327&cid=1&edicao=225>>. Acesso em: 15 de outubro de 2004.

AZEVEDO, J. M. N. **Construção Operação e Manutenção de Poços**, Curso por Correspondência, CETESB, 1977.

BANKFILTRATION. **Problems currenthy faced by bank filtration technology.** Disponível em: < http://www.bau.htw_dresden.de/bankfiltration/problems.htm>. Acesso em: 5 de abril de 2004.

BATALHA, B. L. **Controle da qualidade da água para consumo humano: bases conceituais e operacionais.** São Paulo: CETESB, 1997.

BOURG, A.C.M. & BERTIN, C. Biogeochemical processes during the infiltration of river water into an alluvial aquifer. **Environmental Science and Technology**, v. 27, n. 4, p 661-666, 1993.

BOUWER, E.; WEISS, J.; BALL, W.; O'MELIA, C. & VAN ZUNDERT, E. **Using Riverbank Infiltration to Improve Water Quality.** NASRI Workshop june 2003. Disponível em: <<http://Kompetenz-wasser.de/engl/downloads/NASRI-workshop/EdwardBouwer.pdf>>. Acesso em: 21 de março de 2004.

BOUWER, H. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. **Journal of Hydrogeology**. v.10, p.121-142, 2002.

BUNDSCHUH, J. Modelling annual variations of spring and groundwater temperature associated with shallow aquifer systems. **Journal of Hydrology**, n. 142, p. 427-444, 1993.

CHOI, H. C.; KIM, K.S.and KIM, I.S. Characteristics of contaminants transport in bank filtration through dunes. **Water Science Technology**. v. 38, p.97-103, 1998.

CHORUS, I.; BARTEL, H. & GRÜTZMACHER, G. **Retention and elimination of cyanobacterial toxins (microcystins) through bank filtration.** NASRI Workshop december 2003. Disponível em: <http://Kompetenz-wasser.de/engl/downloads/NASRI-workshop/algae_ws03.pdf>. Acesso em: 6 de abril de 2004.

COSOVIC, B., HRSAK, D., VOJVODIC, V. Transformation of organic matter and bank filtration from a polluted stream. **Water Research**. v. 30,n.12, p. 2921-2928, 1996.

DALSASSO, R. L. & SENS, M.L. Otimização da filtração direta através da pré-floculação, **Revista Sanare**, v.22, n. 22, p. 12-24, jul/dez, 2004.

DEL GRANDE, M.; REZENDE, M. O. & ROCHA, O. Distribuição de compostos organoclorados nas águas e sedimentos da bacia do rio Piracicaba/SP-Brasil **Química Nova**, v. 26, n. 5, p. 678-686, 2003.

DI BERNARDO, L. **Algas e suas influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento**. Rio de Janeiro: ABES, 1995, 140 p.

DI BERNARDO, L; MENDES, C. G. N; BRANDÃO, C.C.S.; SENS, M.L.; PÁDUA, V.L. Tratamento de água para abastecimento por filtração direta. Rio de Janeiro: PROSAB 3. RIMA Editora, 2003, 498 p.

DONALD D. & GRYGASKI T. **Development of a Sustainable Potable Water Supply for Rural Villages in the Coastal Region of Tanzania, Africa**. Disponível em: <<http://Waterloo.ewb.ca/Research/results/Development%20of%20potable%20water%20supply%20Tanzania-partII.pdf>> Acesso em: 21 de março de 2004.

DREWES, J.E. & SUMMERS, R.S. Natural organic matter removal during Riverbank Filtration: Current knowledge and research needs. In: Ray, C.; Melin, G; Dordrecht, R. D. **Riverbank Filtration – Improving Source-Water Quality**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 2002, Ch. 15.

FRITZ, B. Bankfiltration – A natural process for drinking water production Berlin Centre of Competence for Water (Kompetenz Zentrum Wasser Berlin) Paris meets Berlin, 23 October, 2003. Disponível em: <kompetenz-wasser.de/dt/veranstaltungen/BerlinParis%202003/fritz_parisberlin.pdf> Acesso em: 21 de março de 2004.

FRITZ, B. Natural and Artificial Systems for Recharge and Infiltration NASRI Workshop 10 junho 2003. Disponível em: http://www.kompetenzwasser.de/fileadmin/user_upload/pdf/forschung/nasri/kwb_general.PDF Acesso em: 21 de março de 2004.

GARCIA, T.V. **Remoção de algas através da eletroflotação – tratamento eletrolítico seguido de filtração direta no tratamento de água de abastecimento**. Florianópolis, 2002. 97p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina.

GRUTZMACHER, G.; BOTTCHER, G.; CHORUS, I. & BARTEL, H. Removal of microcystins by slow sand filtration. **Wiley Periodicals, Inc. Environmental Toxicology**. n. 17, p 386-394, 2002.

HEBERER, T.; MECHLINSKI, A.; FANCK, B.; KNAPPE, A.; MASSMANN, G.; PEKDEGER, A. & FRITZ, B. Field Studies on the Fate and Transport of Pharmaceutical Residues in Bank Filtration. **Ground Water Monitoring & Remediation**, v. 24, n.2, p.70-77, 2004.

HISCOCK, K.M. AND GRISHEK Attenuation of Groundwater Pollution by Bank Filtration **Journal of Hidrology**, v. 266, p.139-144, 2002.

JEKEL, M. & GRÜNHEID, S. **Organic Substances in Bank Filtration and Groundwater Recharge-Process Studies**. NASRI Workshop june 2003. Disponível em: <http://Kompetenzwasser.de/engl/downloads/NASRIWorkshop/organics_ws03.pdf>. Acesso em: 6 de abril de 2004.

JEKEL, M.; HEINZMANN, B. **The Research Project “Natural and Artificial Systems for Recharge and Infiltration (NASRI)”, its Relation to the Specific Water Management Challenges of Berlin and the International Relevance**. Conference Wasser Berlin 2003. Disponível em: <<http://www.Kompetenz.wasser.de/engl/veranstaltungen/Messeproceedings%202003/Jekel%20NASRI%200verview.PDF>>. Acesso em: 30 de abril de 2004.

KIM, S.-B., CORAPCIOGLU, M.Y. Contaminant transport in riverbank filtration in the presence of dissolved organic matter and bacteria: a kinetic approach. **Journal of Hydrology**, v.266, n.3-4, p. 269-283, 2002.

KÜHN, W.; MÜLLER, U. Riverbank filtration an overview. **Jounal American Water Works Association**. v.92, p.60-69, 2000.

MANCUSO, P. C. S. & SANTOS, H. F. Reuso de Água Núcleo de Informações em Saúde Ambiental USP São Paulo: Manole, 2003, 576 p.

MASSMANN, G., PEKDEGER, A. & MERZ, C. Geochemical Processes During Riverbank Filtration in a Polder Region Bordering the River Oder, Germany. In: 4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARTIFICIAL RECHARGE OF GROUNDWATER, ISAR-4. A.A. Adelaide: Balkema Publishers, 2002, p. 89-94.

MATTHIENSEN, A. **Curso de Introdução às Florações Tóxicas por Cianobactérias em Corpos d'Água e Previsão Normativa (Portaria nº 1469/MS/2000)**. Florianópolis: CASAN, 2002.

MCCARTHY, J.F.; WILLIAMS, T.M.; LIANG, L.; JARDINE, P.M.; JOLLEY, L.W.; TAYLOR, D.L.; PALUMBO, A.V. & COOPER, L.W. Mobility of natural organic matter in a sandy aquifer. **Environmental Science and Technology**, v. 27, n. 4, p 667-676, 1993.

MELO FILHO, L.C. **Avaliação da ozonização como pré ou pós-tratamento à filtração direta na remoção de cianobactérias e saxitoxinas**. Florianópolis, 2004, 168f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina. No prelo.

_____. Monitoramento de cianobactérias potencialmente produtoras de toxinas no corpo lagunar da Lagoa do Peri, Florianópolis, SC. Relatório Final–CASAN–2001, 18 p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria n. 518 de 25 de março de 2004. Disponível em: <http://e-legis.bvs.br> Acesso em: 20 de novembro de 2004.

MONDARDO, R. I. **Influência da pré-oxidação na tratabilidade das águas via filtração direta descendente em manancial com elevadas concentrações de microalgas e cianobactérias**. Florianópolis, 2004, 147f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina.

OLIVEIRA, J.S. **Análise sedimentar em zonas costeiras: subsídio ao diagnóstico ambiental da Lagoa do Peri – Ilha de Santa Catarina – SC, Brasil**. Florianópolis, 2002. 154p. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Santa Catarina.

PEKDEGER, A., MASSMANN, G. & OHM, B. Hydrogeological – hydrogeochemical processes during bank filtration and groundwater recharge using a multi tracer approach. Disponível em: http://www.kompetenz-wasser.de/fileadmin/user_upload/pdf/forschung/nasri/Report1_part2_hydrogeo.pdf, Kompetenz Zentrum Wasser Berlin 2002. Acesso em: 20 de novembro de 2004.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A. **Hidrologia de superfície**. 2ª ed. Curitiba: Edgard Blücher, 1979, 179 p.

RAY, C., MELIN, G. & LINSKY, R.B. **Riverbank Filtration – Improving Source-Water Quality** Water Science and Technology Library, USA. Kluwer Academic Publishers, 2003, 364p.

SCHUBERT, J. Hydraulic aspects of riverbank filtration – Field studies. **Journal of Hydrology**, v. 266, n.3-4, p.145-161, 2002.

SCHWARZENBACH, R. P.; GIGER, W.; HOEHN, E. & SCHNEIDER, J.K. Behavior of organic compounds during infiltration of river water to groundwater, field studies **Environmental Science and technology**, v. 17, p. 472-479, 1983.

SENS, M.L.; MELO FILHO, L.C.; MONDARDO, R.I.; PROENÇA, L.A.O. Efficiency of ozonization as pre- or post-treatment to the direct descent filtration for the removal of cyanobacteria and saxitoxins. In: AGUA 2005 – De la acción local a las metas globales. **Anais...** Santiago de Cali: 2005.

SENS, M.L.; MONDARDO, R.I.; MELO FILHO, L.C.; LAUDARES SILVA, R. Estudo comparativo entre cloração e ozonização empregadas como pré-tratamento à filtração direta descendente na remoção de microalgas e

cianobactérias. XXIX CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...** San Juan: 2004.

SENS, M.L.; MONDARDO, R.I.; MELO FILHO, L.C. Avaliação da ozonização como pré-tratamento à filtração direta descendente no processo de potabilização de água com alta concentração de algas. **XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia sanitária e Ambiental. Natal, Anais...** Rio Grande do Norte: 2004.

SHMIDT C. K.; LANGE F. T.; BRAUCH H.; KÜHN W. **Experiences with riverbank filtration and infiltration in Germany** . Disponível em: <<http://www.tzw.de/pdf/bankfiltration.pdf> >. Acesso em: 8 de abril de 2004.

SHMIDT C. K.; LANGE F. T.; SACHER, F.; BAUS, C. & BRAUCH, H. J. Assessing the fate of organic micropollutants during riverbank filtration utilizing field studies and laboratory test systems, **Geophysical Research Abstracts**, v. 5, 2003.

SILVA, R. L. Aspectos Limnológicos, Variabilidade Espacial e Temporal na Estrutura da comunidade Fitoplactônica da Lagoa do Peri. São Carlos, 1999. 220f. Tese (Doutorado) Universidade Federal de São Carlos.

SILVEIRA, A. **Remoção de algas da água da Lagoa do Peri através de filtração direta descendente com pré-filtração mecânica em micropeneiras**. Florianópolis, 2003. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina.

SONTHEIMER, H. Experience with riverbank filtration along the River Rhine. **Journal AWWA**. v. 7, p. 386-390, 1980.

TUFENKJI, N. & MENACHEM, E. Correlation equation for predicting single-collector efficiency in physicochemical filtration in saturated porous media, **Environmental Science and Technology**. v. 38, p. 529-536, 2004.

TUFENKJI, N., RYAN, J.N., ELIMELECH, M. The Promise of Bank Filtration **Environmental Science and Technology**, p. 423A-428A, 2002.

VERSTRAETEN, I.M. & HEBERER, T. Organic Chemical Removal Issues. In: **Riverbank Filtration – Improving Source-Water Quality**. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 2002. Ch. 17.

WEISS, W.J.; BOUWER, E.J.; BALL, W.P.; O'MELIA, C.R.; LECHEVALLIER, M.W.; ARORA, H. & SPETH, T.F. Riverbank filtration – fate of DBP precursors and selected microorganisms **Journal AWWA**, v. 95, n. 10, p. 68-81, 2003.

WETT, B. Hydraulic sensitivities and reduction potential correlated with the distance between riverbank and production well. In: II INTERNATIONAL RIVERBANK FILTRATION CONFERENCE, Cincinnati:2003.

WET, B.; JAROSCH, H. & INGERLE, K. Flood induced affecting a bank filtrate well at the River Enns, Austria, **Journal of Hydrology**, v. 266. n. 3-4, p. 222-234, 2002.

WORCH E.; GRISCHEK T.; BORNICK H.; EPPINGER P. Laboratory Tests for Simulating Attenuation Processes of Aromatic Amines in River-bank Filtration. **Journal of Hydrology**, v.266, p. 259-268, 2002.

ZIEGLER, D.H. Untersuchungen zur nachhaltigen wirkung der uferfiltration im wasserkreislauf Berlins Dissertation, MSc. Technischen Universitat Berlin, Berlin, 2001.

ZUEHLKE, S.; DUENNBIER, U.; HEBERER, T. & FRITZ, B. Analysis of Endocrine Disrupting Steroids: Investigation of Their Release into the Environment and Their Behavior During Bank Filtration, **Ground Water Monitoring & Remediation**, v. 24, n.2, p. 78-85, 2004.

APÊNDICES

Apêndice A

Perda de carga unitária e Taxa de filtração

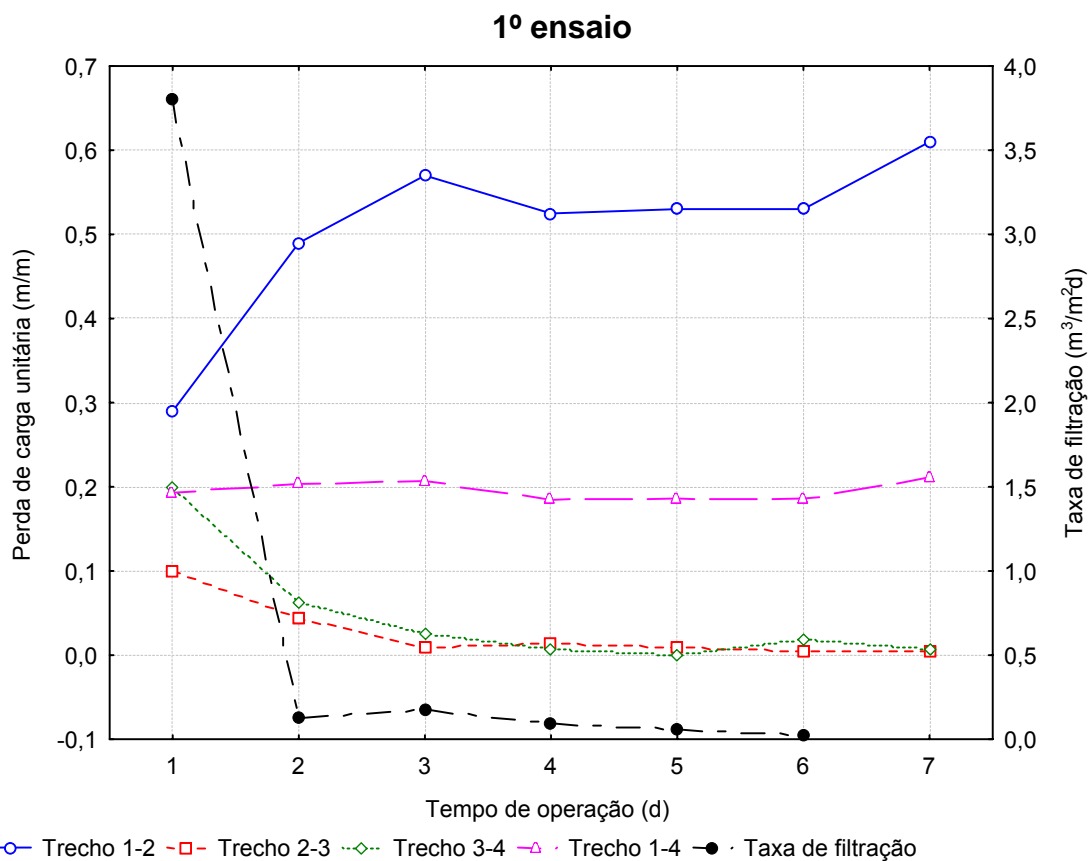


Figura A1,1 Perda de carga e taxa de filtração na coluna 1 (primeiro ensaio)

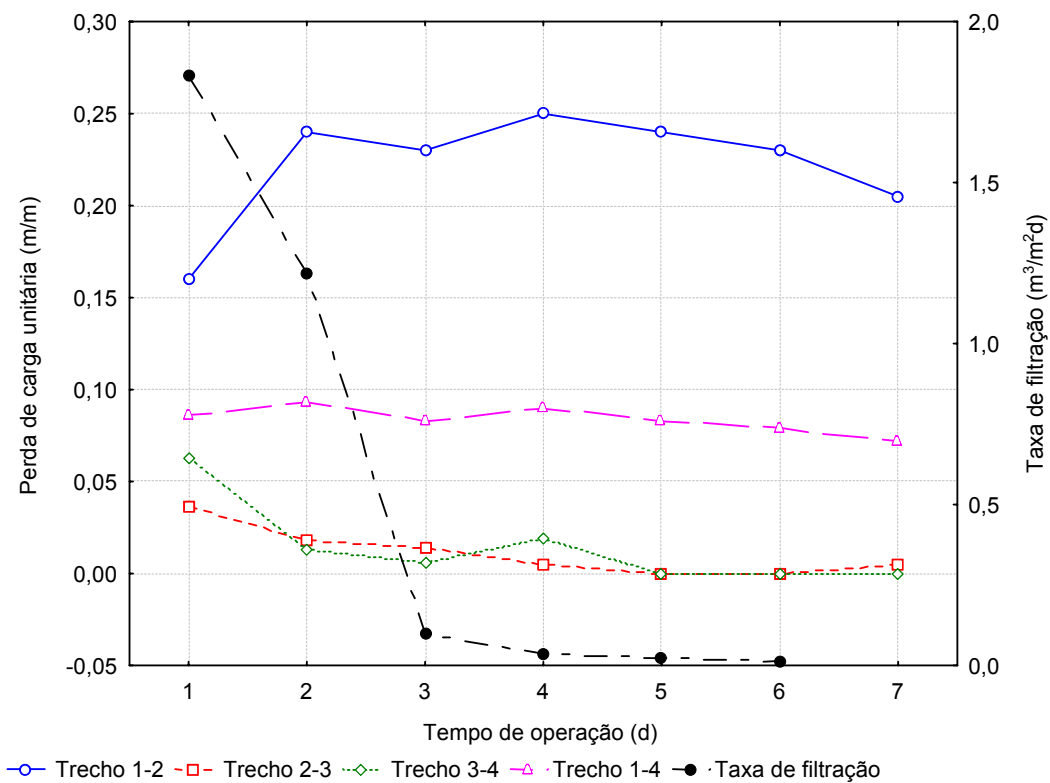


Figura A1,2 Perda de carga e taxa de filtração na coluna 2 (primeiro ensaio)

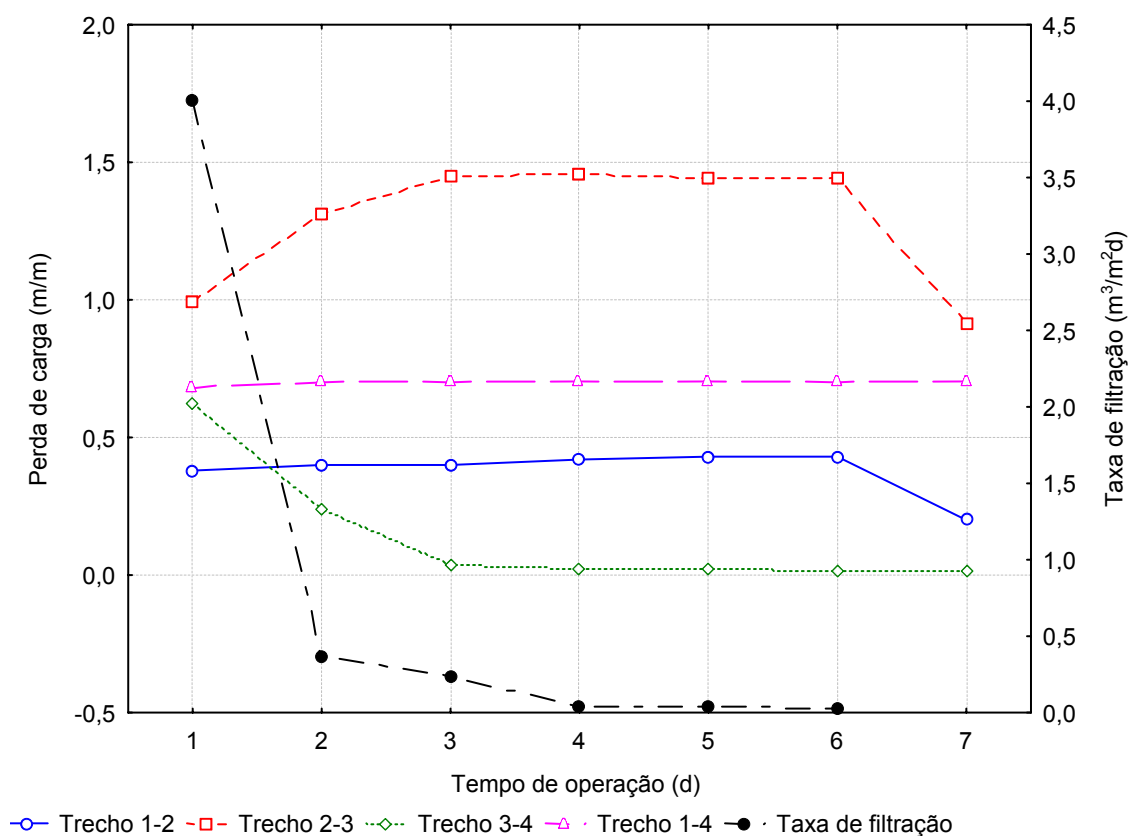


Figura A1,3 Perda de carga e taxa de filtração na coluna 3 (primeiro ensaio)

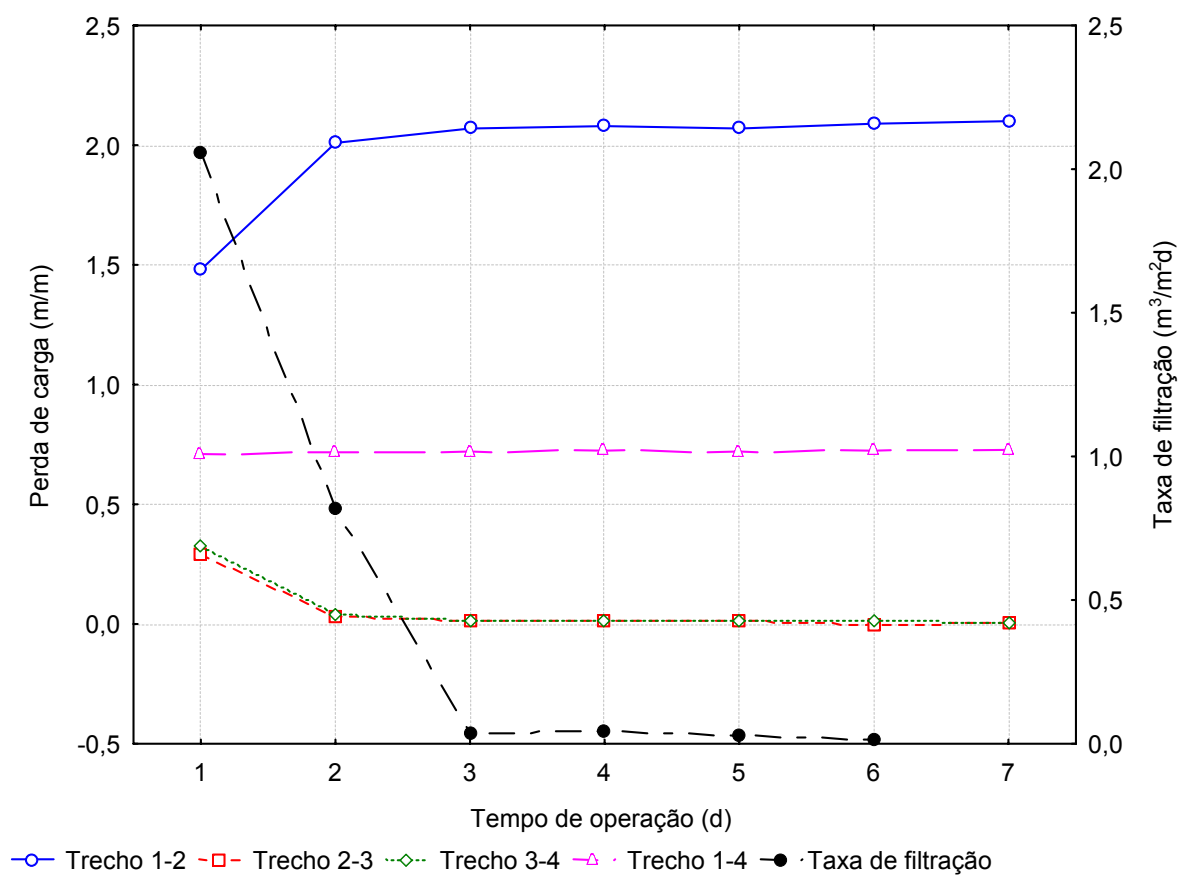


Figura A1.4 Perda de carga e taxa de filtração na coluna 4 (primeiro ensaio)

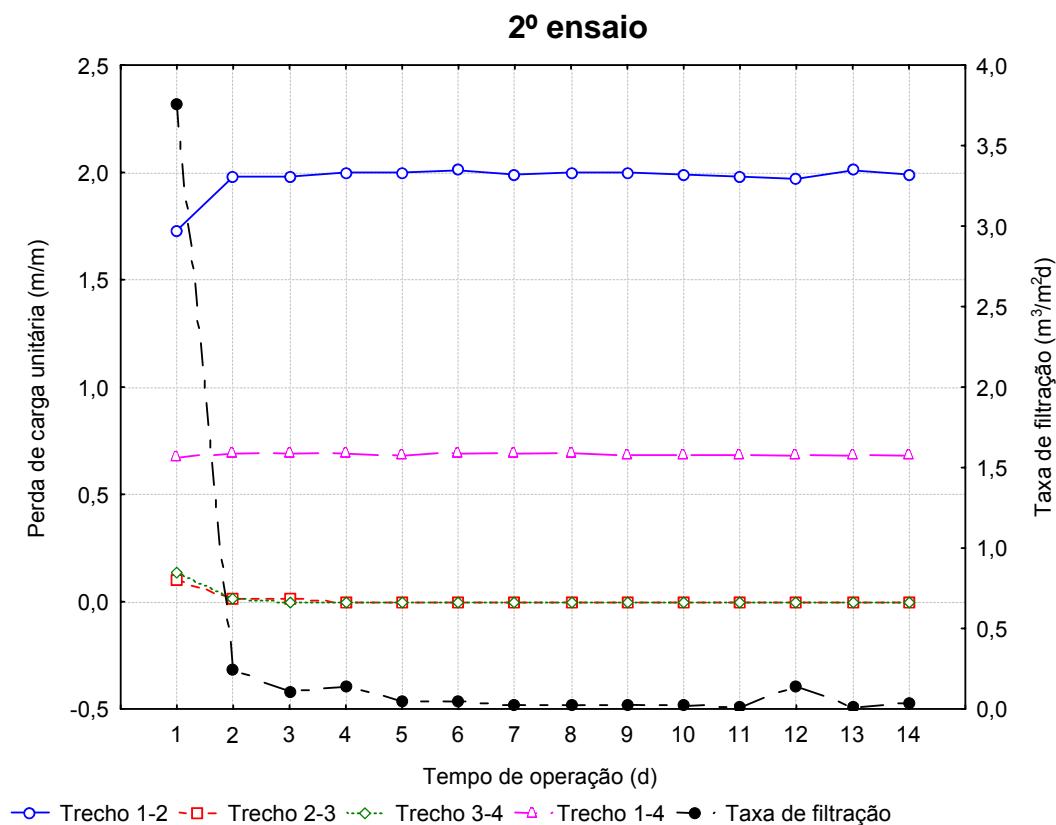


Figura A2.1 Perda de carga e taxa de filtração na coluna 1 (segundo ensaio)

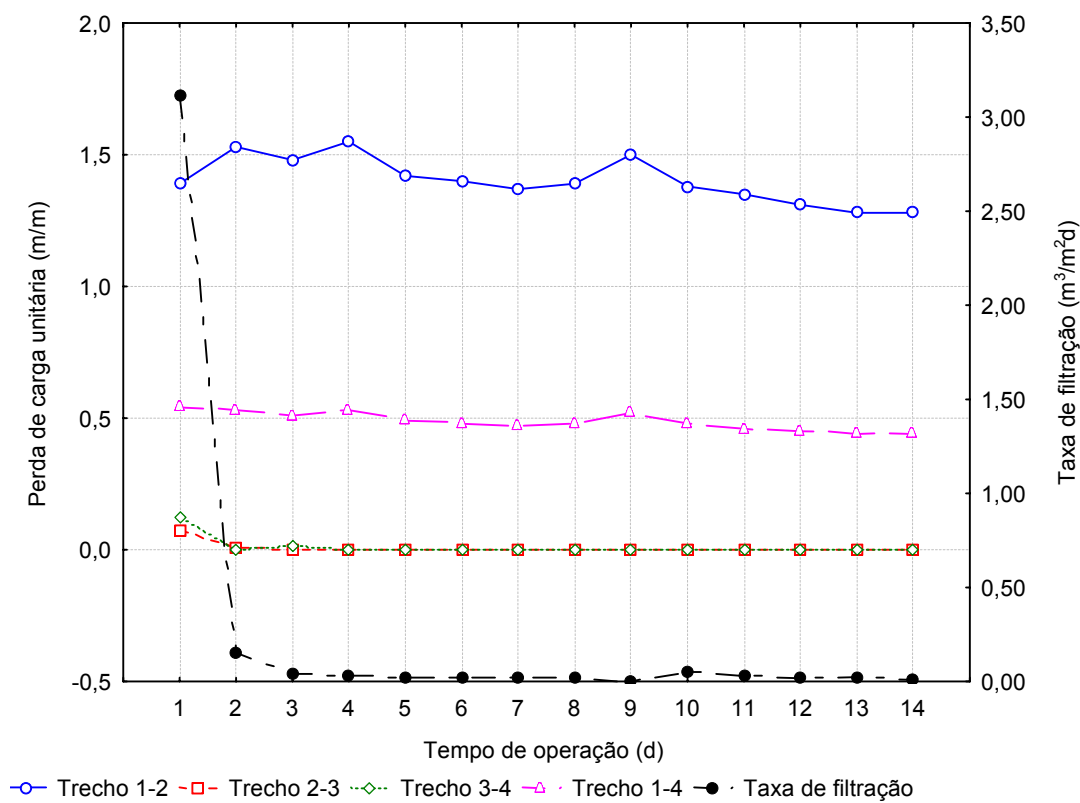


Figura A2.2 Perda de carga e taxa de filtração na coluna 2 (segundo ensaio)

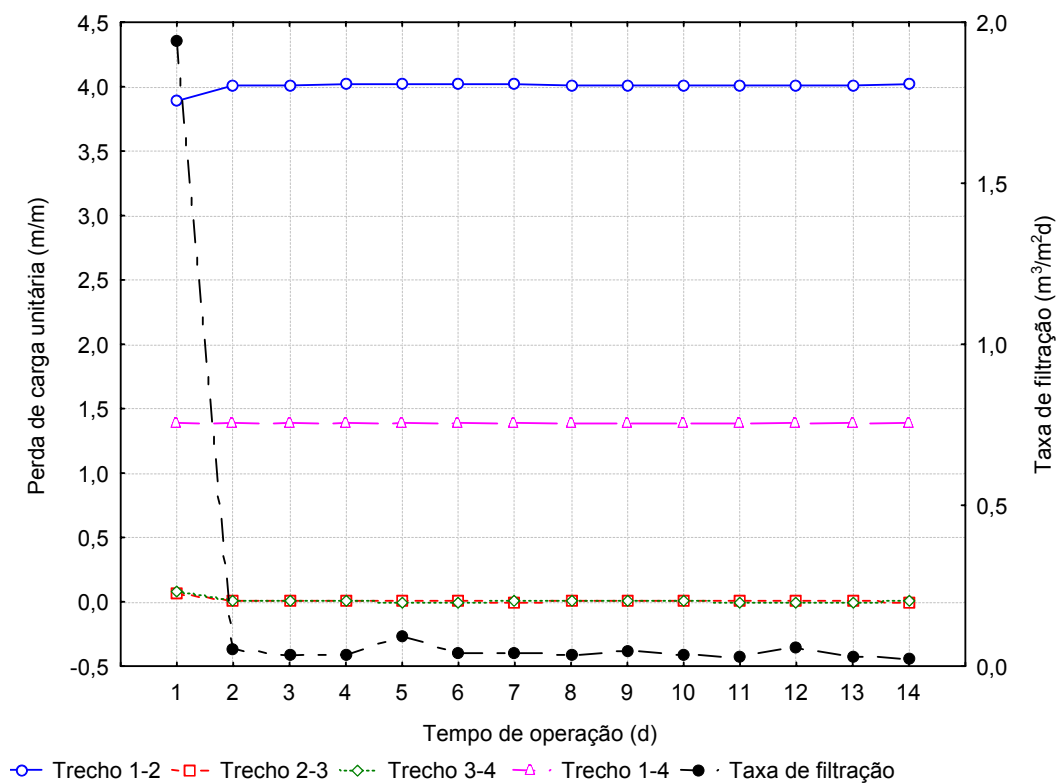


Figura A2.3 Perda de carga e taxa de filtração na coluna 3 (segundo ensaio)

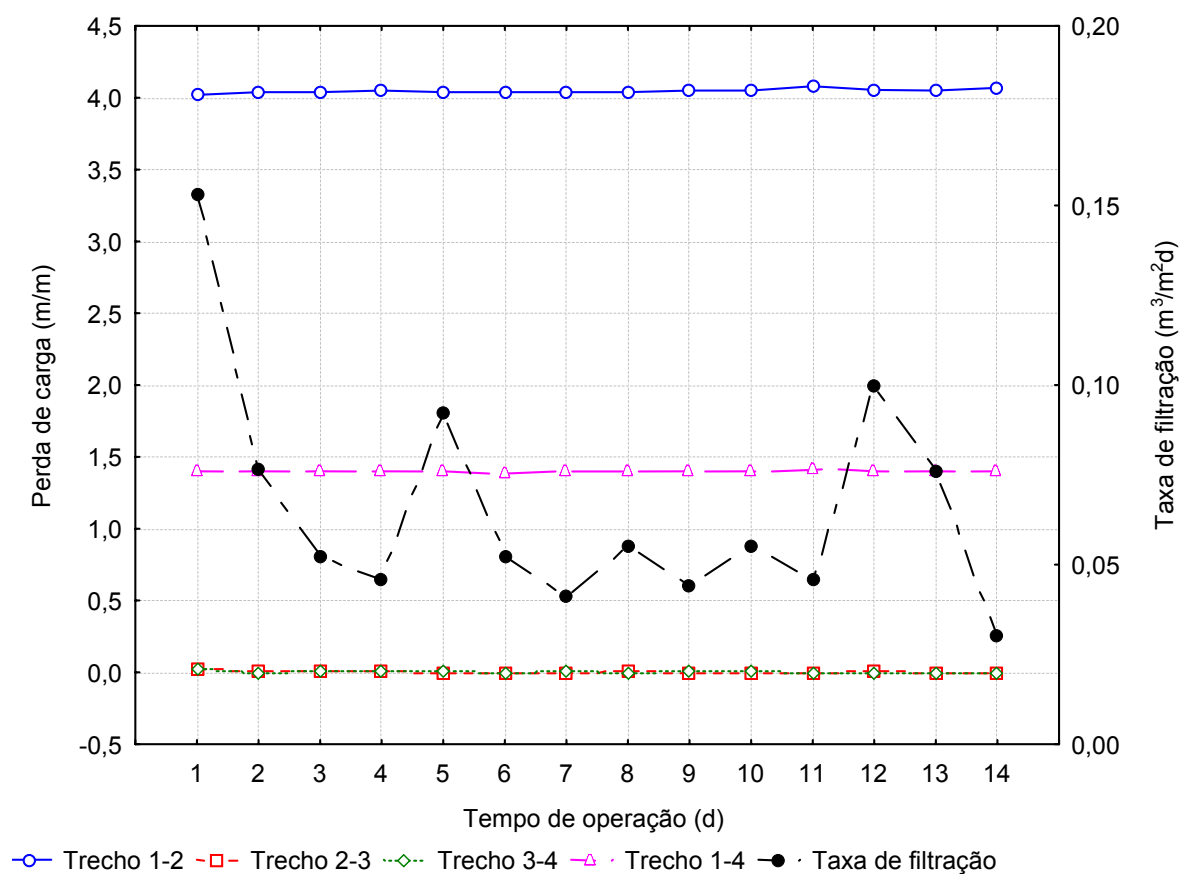


Figura A2.4 Perda de carga e taxa de filtração na coluna 4 (segundo ensaio)

3º ensaio

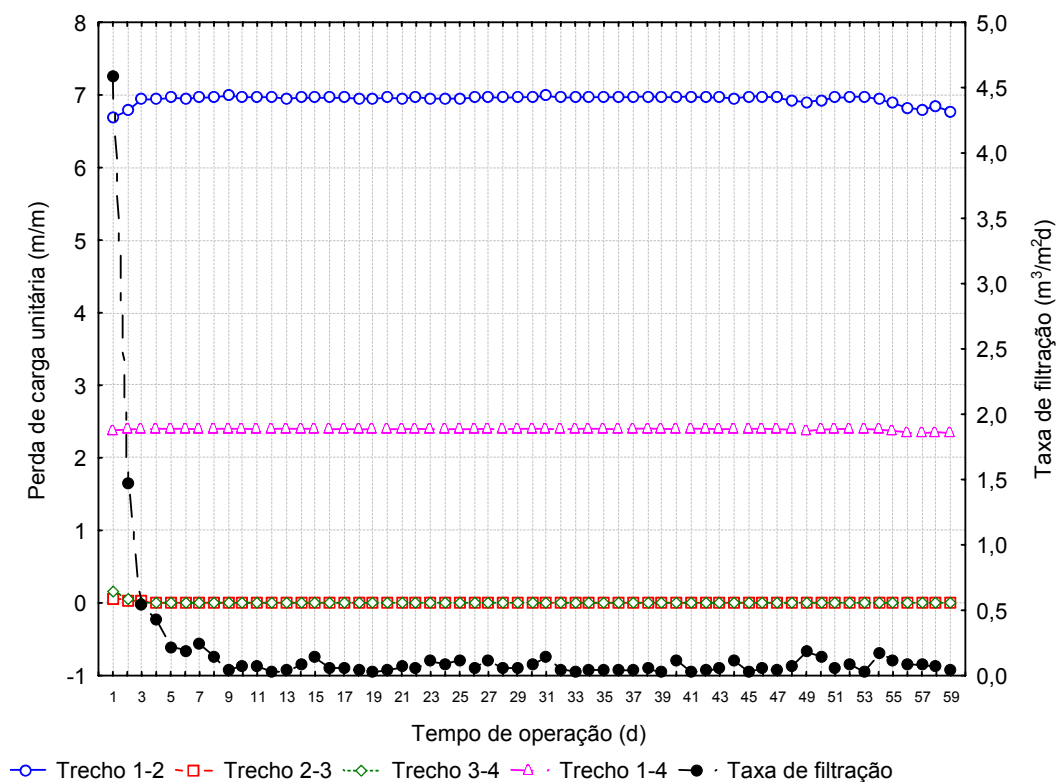


Figura A3.1 Perda de carga e taxa de filtração na coluna 1 (terceiro ensaio)

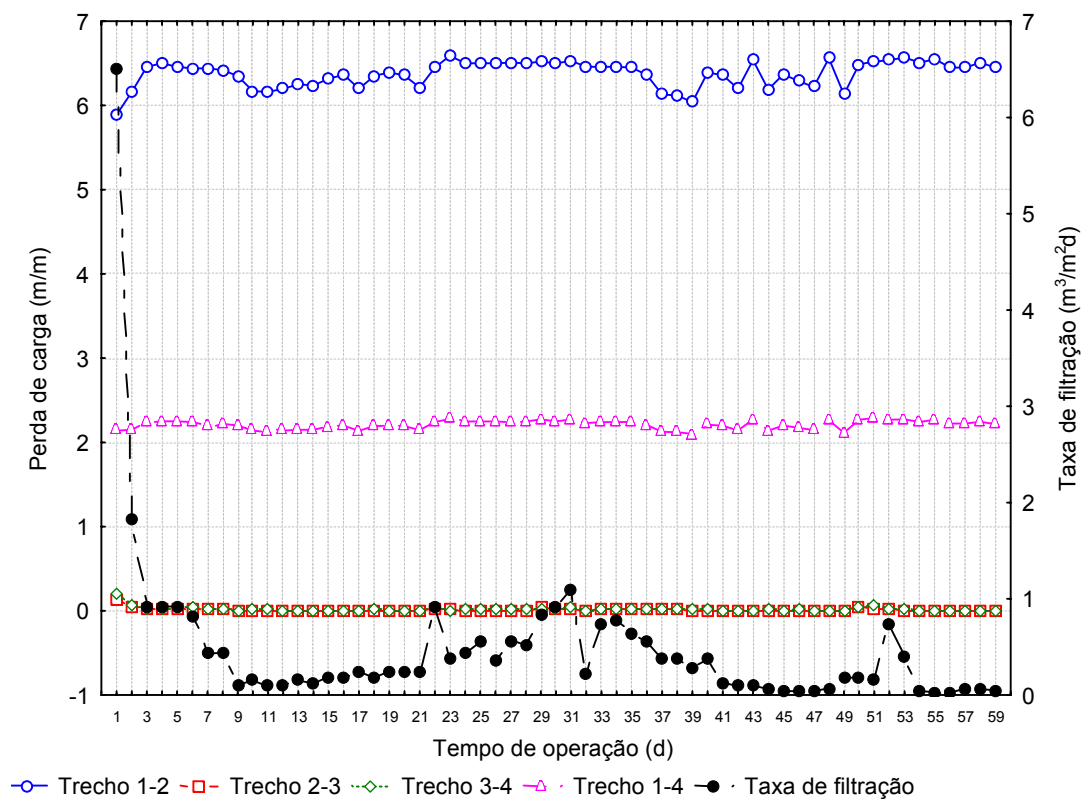


Figura A3.2 Perda de carga e taxa de filtração na coluna 2 (terceiro ensaio)

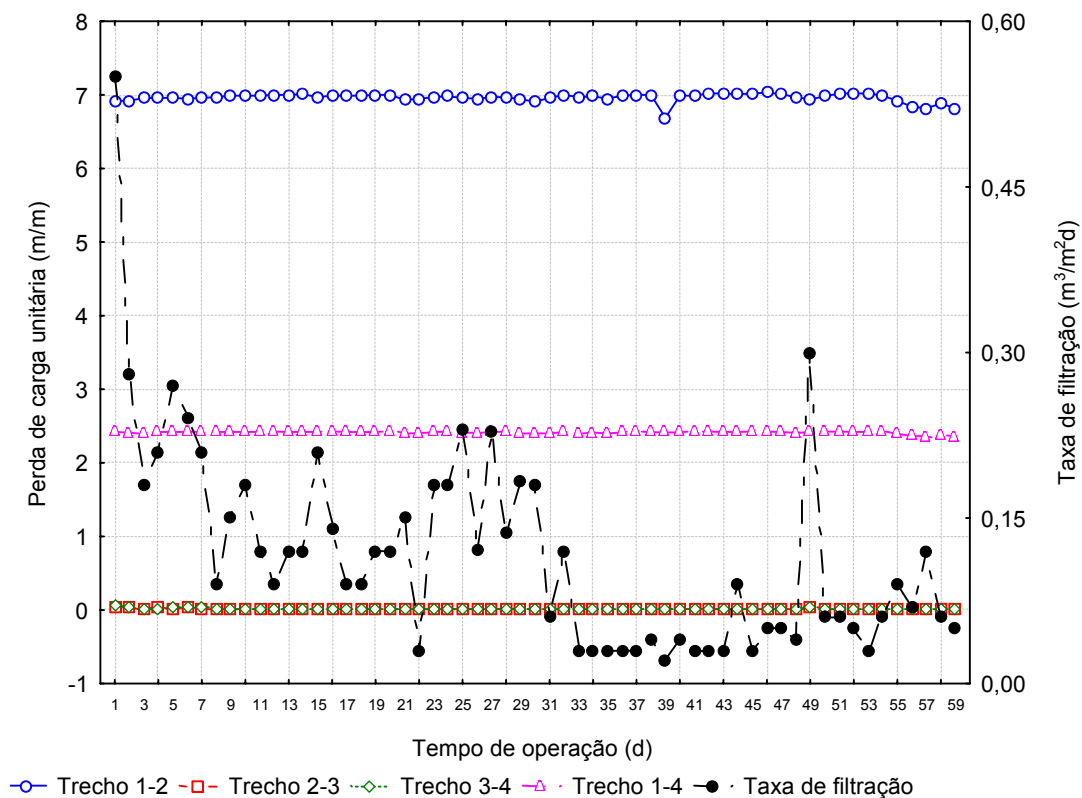


Figura A3.3 Perda de carga e taxa de filtração na coluna 3 (terceiro ensaio)

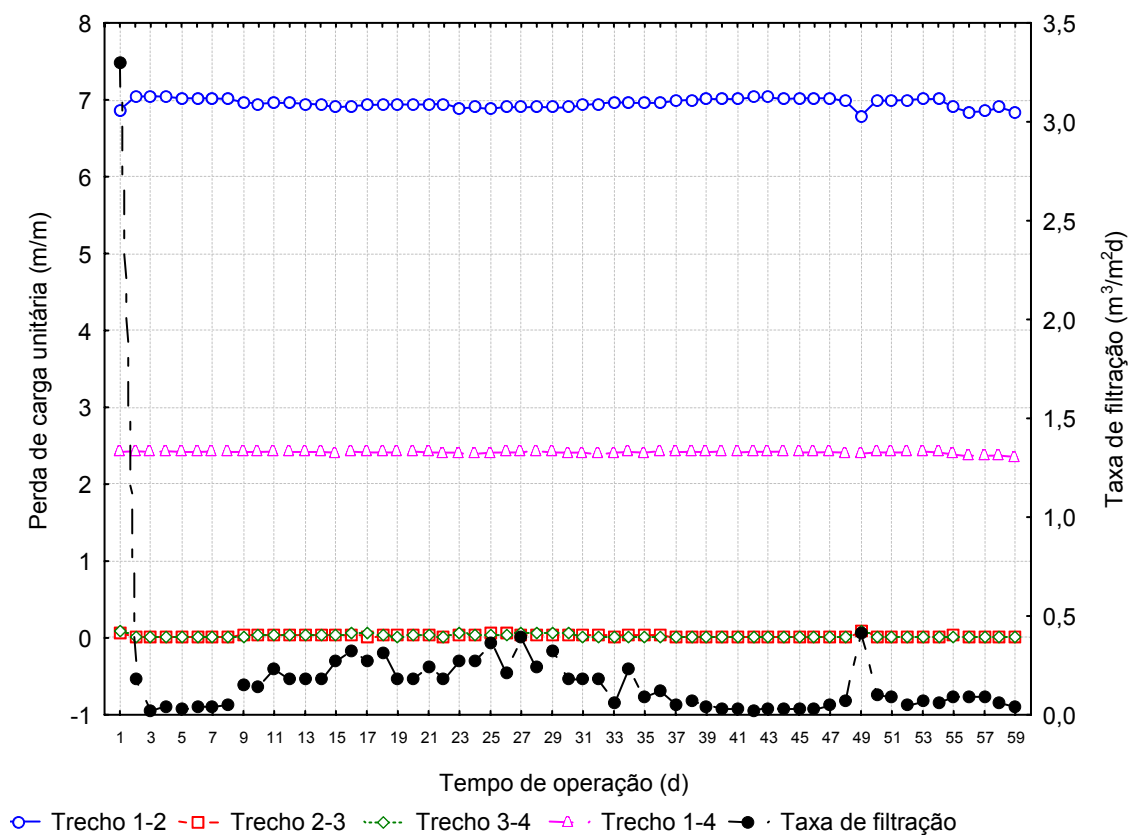


Figura A3.4 Perda de carga e taxa de filtração na coluna 4 (terceiro ensaio)

Apêndice B

Perda de carga unitária em cada trecho

1º ensaio

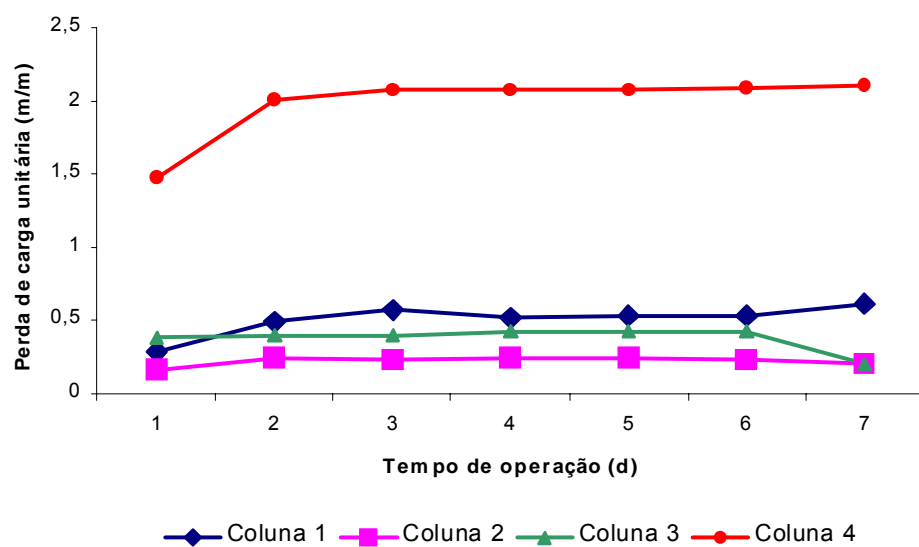


Figura B1.1 Perda de carga no trecho 1-2 (primeiro ensaio)

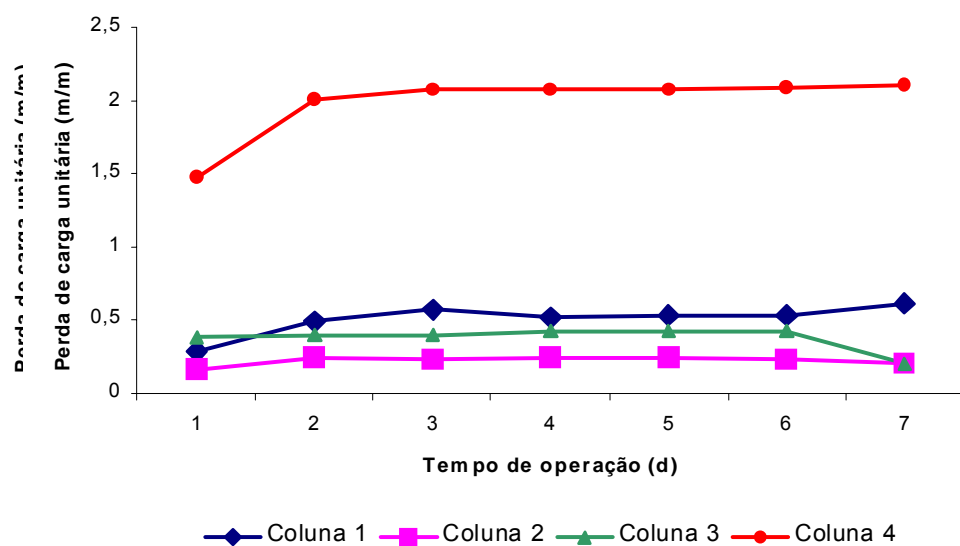


Figura B1.2 Perda de carga no trecho 2-3 (primeiro ensaio)

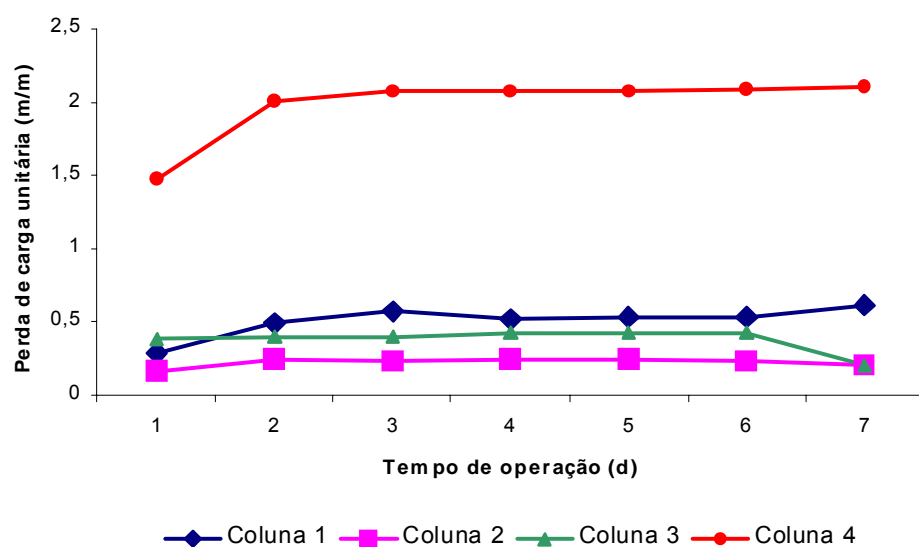


Figura B1.3 Perda de carga no trecho 3-4 (primeiro ensaio)

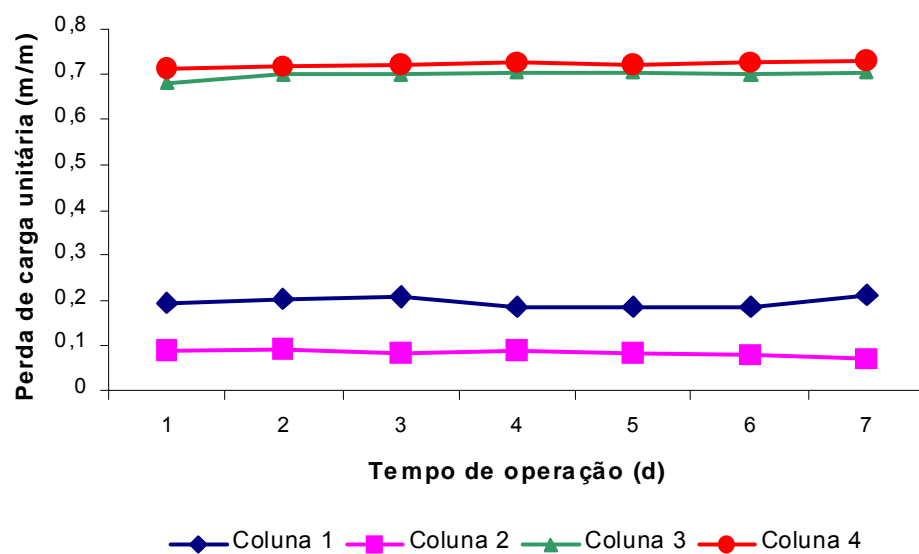


Figura B1.4 Perda de carga no trecho 1-4 (primeiro ensaio)

2º ensaio

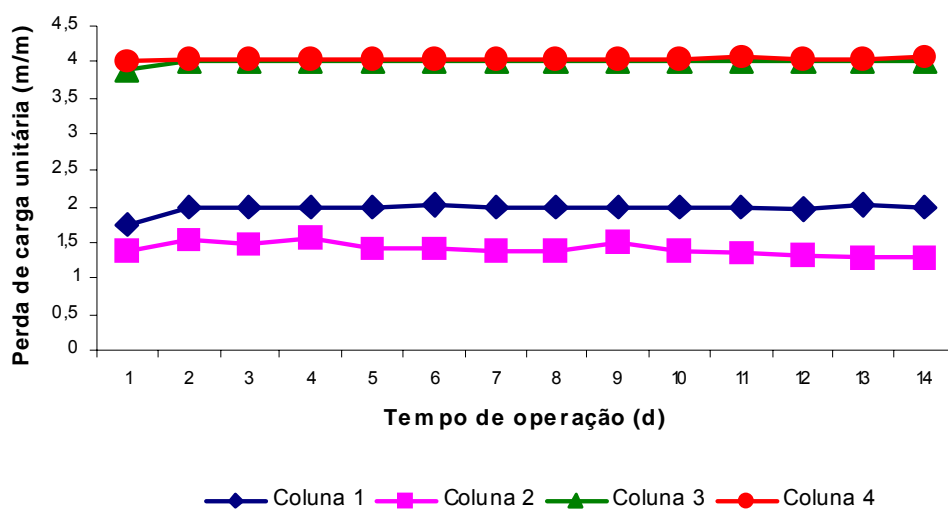


Figura B2.1 Perda de carga no trecho 1-2 (segundo ensaio)

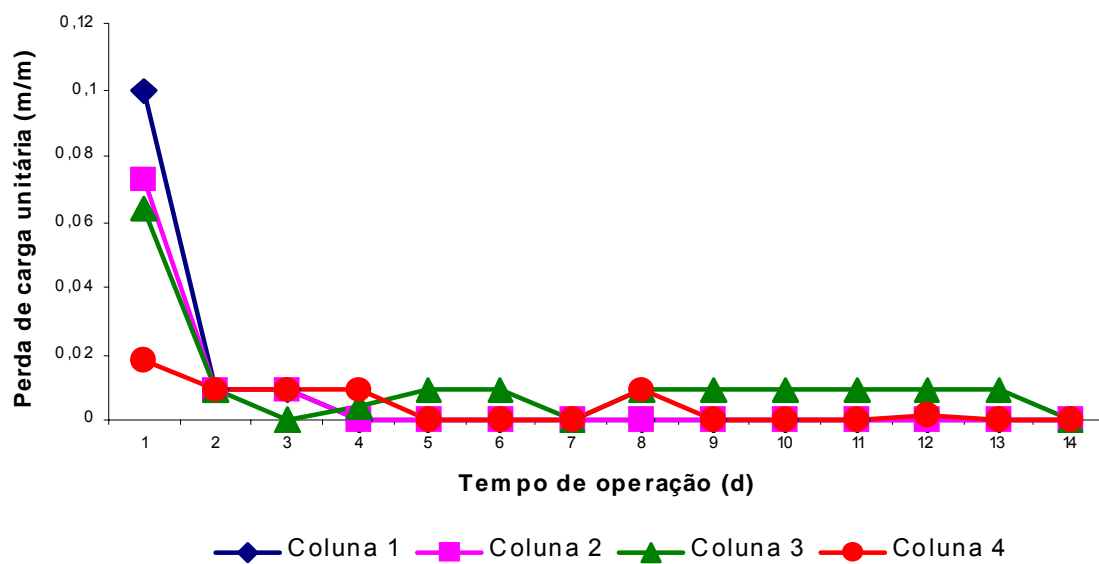


Figura B2.2 Perda de carga no trecho 2-3 (segundo ensaio)

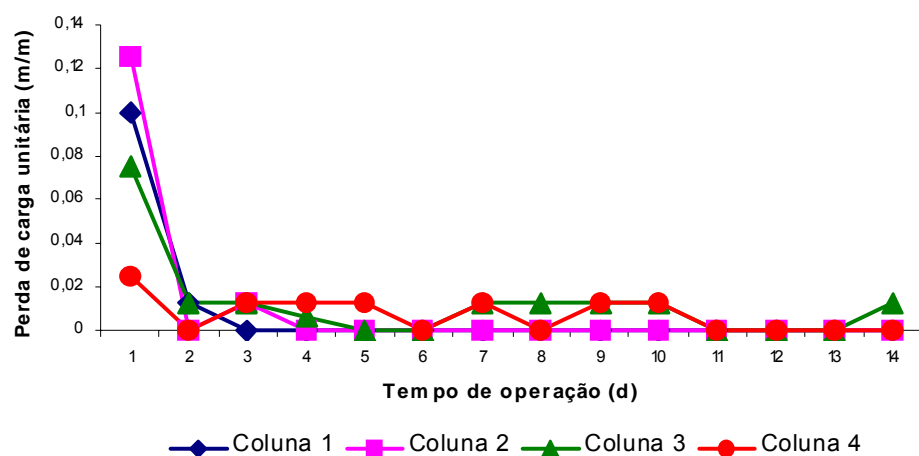


Figura B2.3 Perda de carga no trecho 3-4 (segundo ensaio)

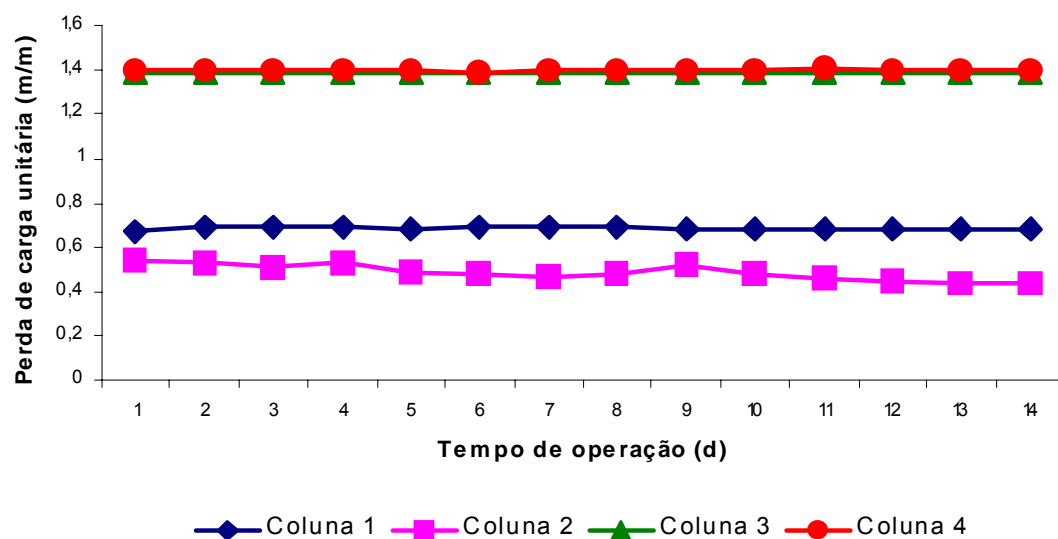


Figura B2.4 Perda de carga no trecho 1-4 (segundo ensaio)

3º ensaio

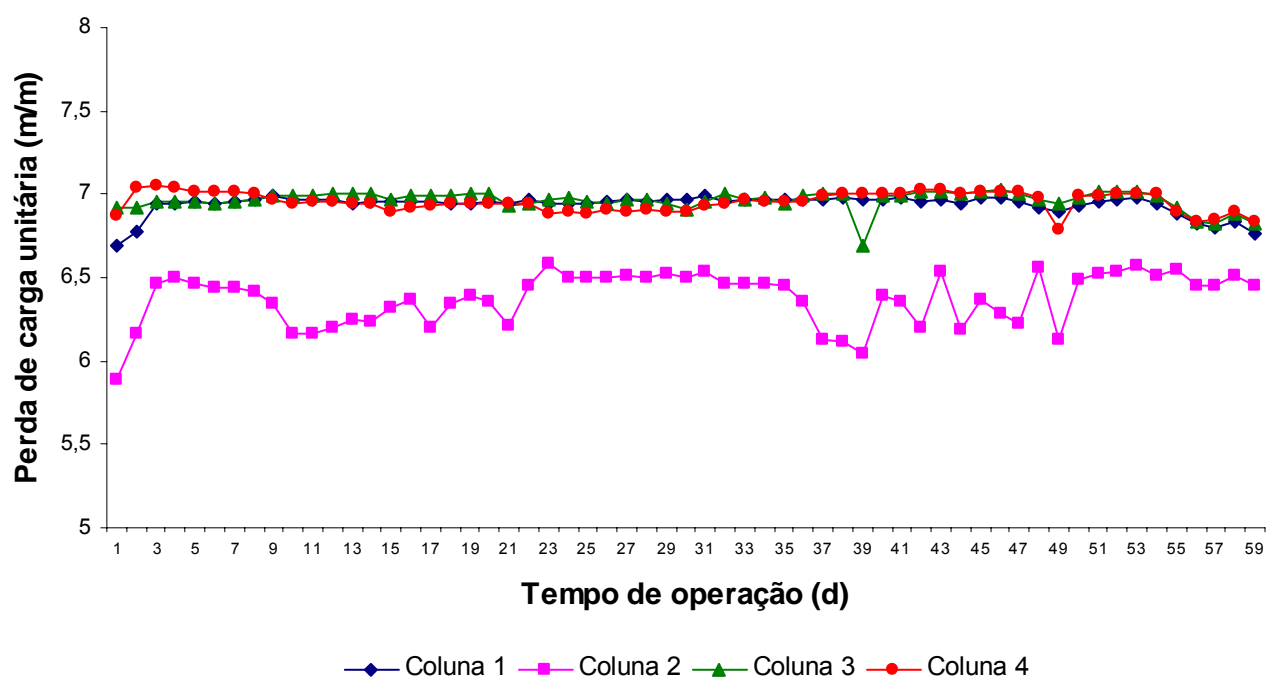


Figura B3.1 Perda de carga no trecho 1-2 (terceiro ensaio)

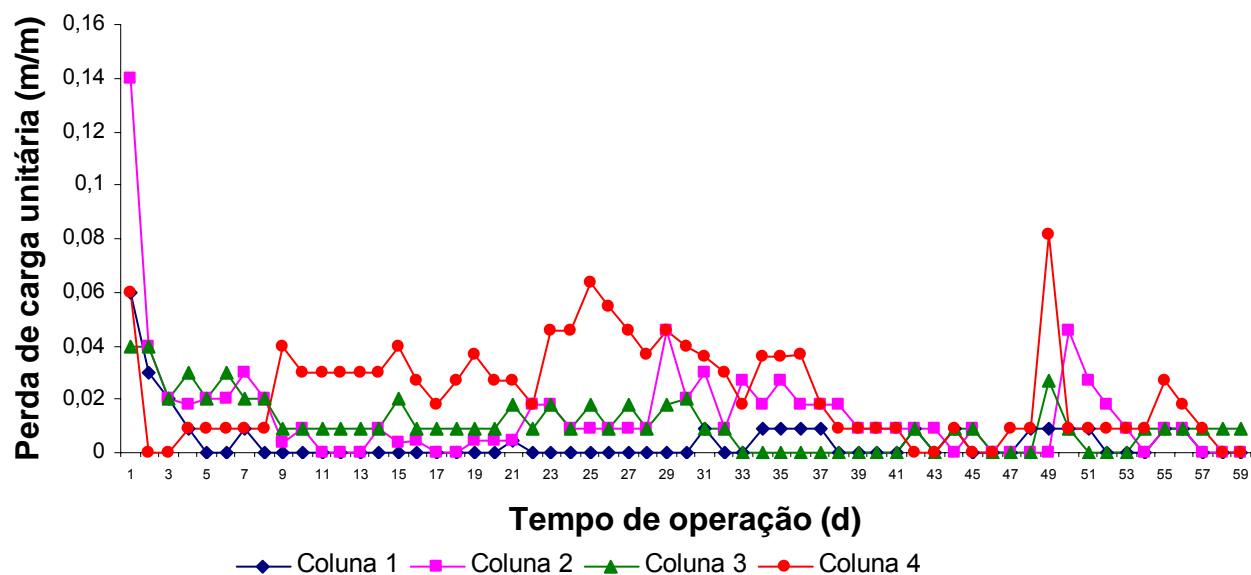


Figura B3.2 Perda de carga no trecho 2-3 (terceiro ensaio)

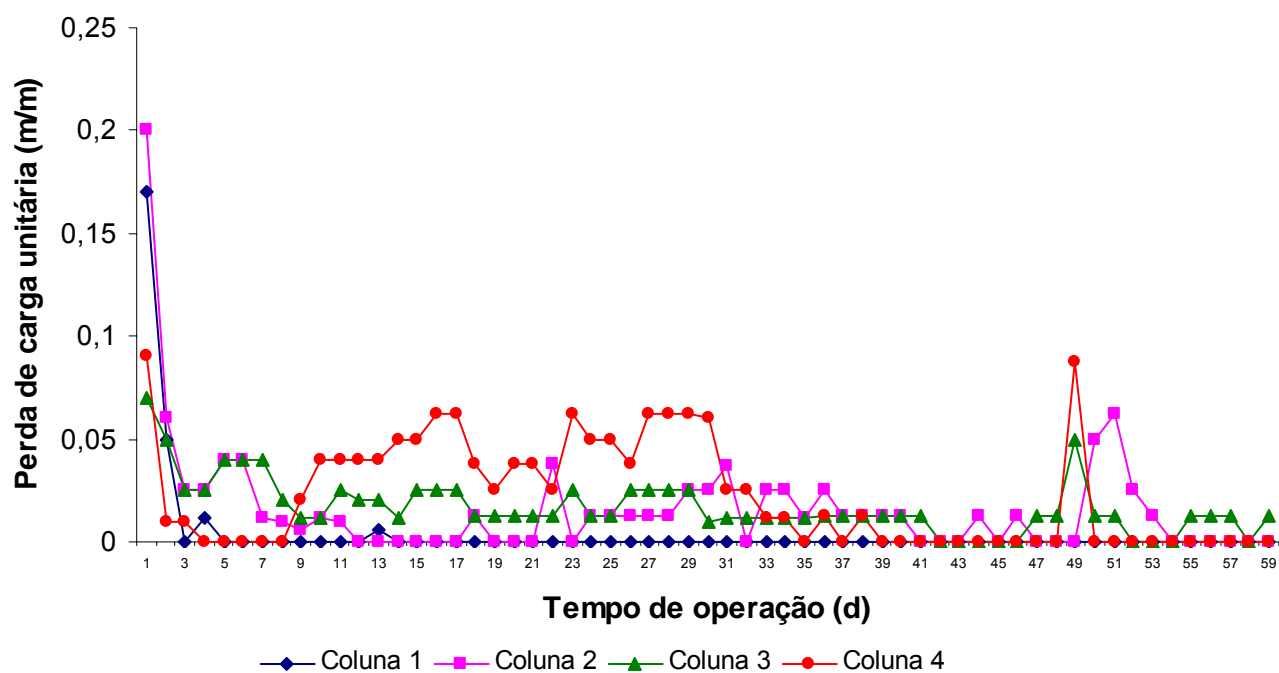


Figura B3.3 Perda de carga no trecho 3-4 (terceiro ensaio)

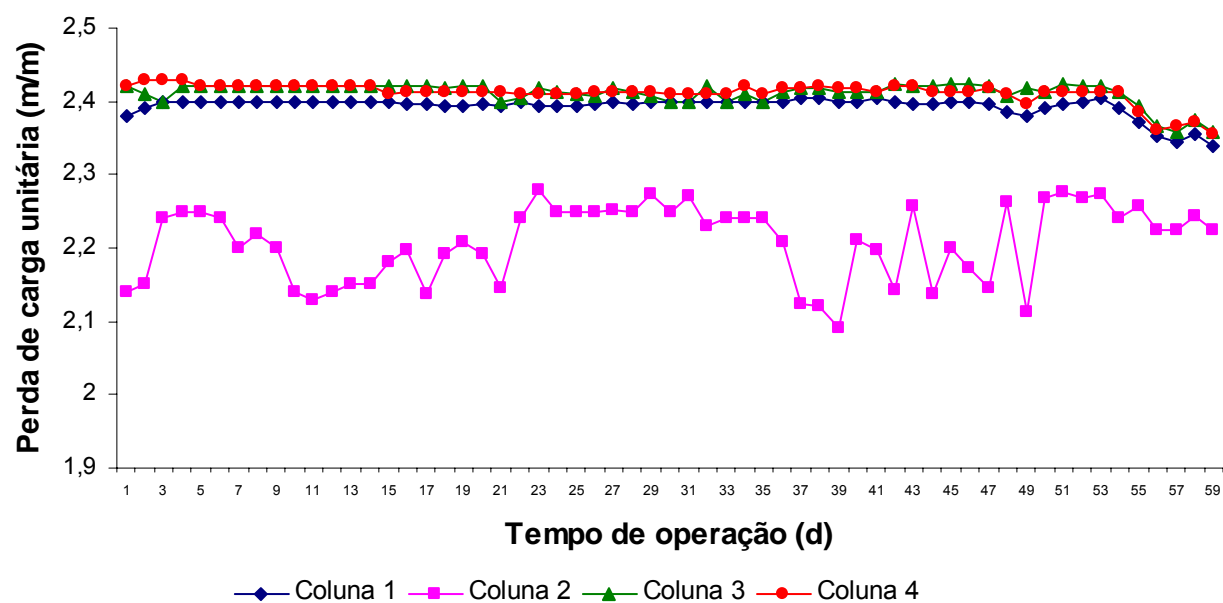


Figura B3.4 Perda de carga no trecho 1-4 (terceiro ensaio)

Apêndice C
Perda de carga unitária (trecho 1-2)
e taxa de filtração

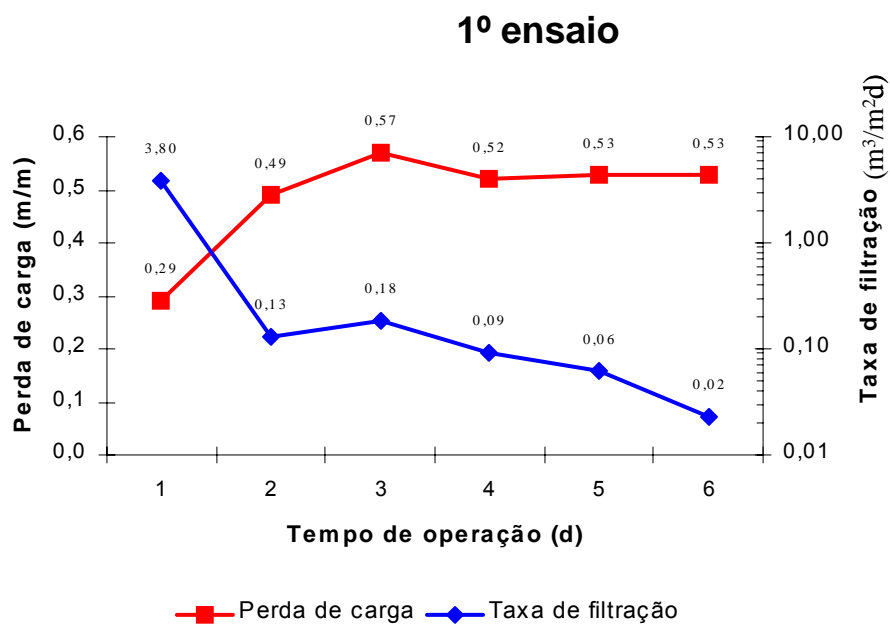


Figura C1.1 Perda de carga e taxa de filtração no trecho 1-2 (coluna 1-primeiro ensaio)

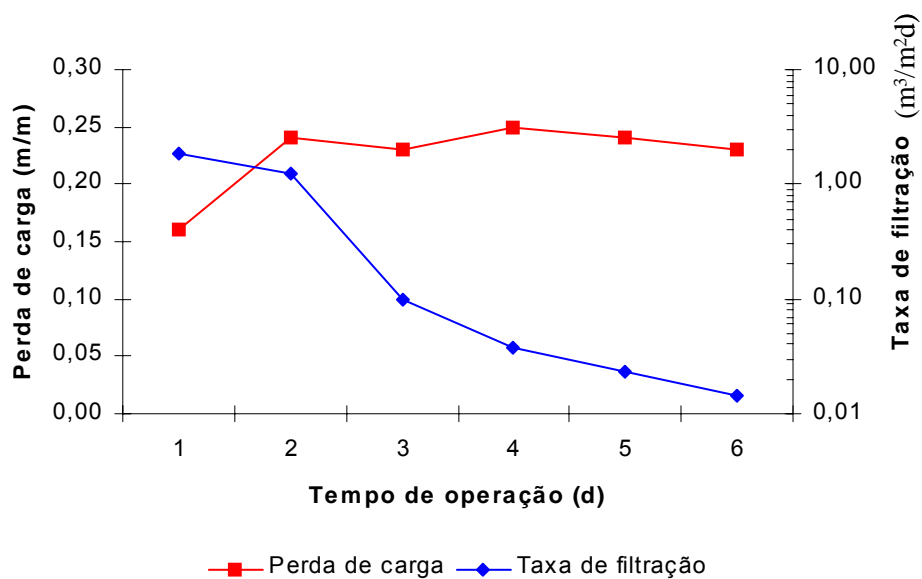


Figura C1.2 Perda de carga e taxa de filtração no trecho 1-2 (coluna 2-primeiro ensaio)

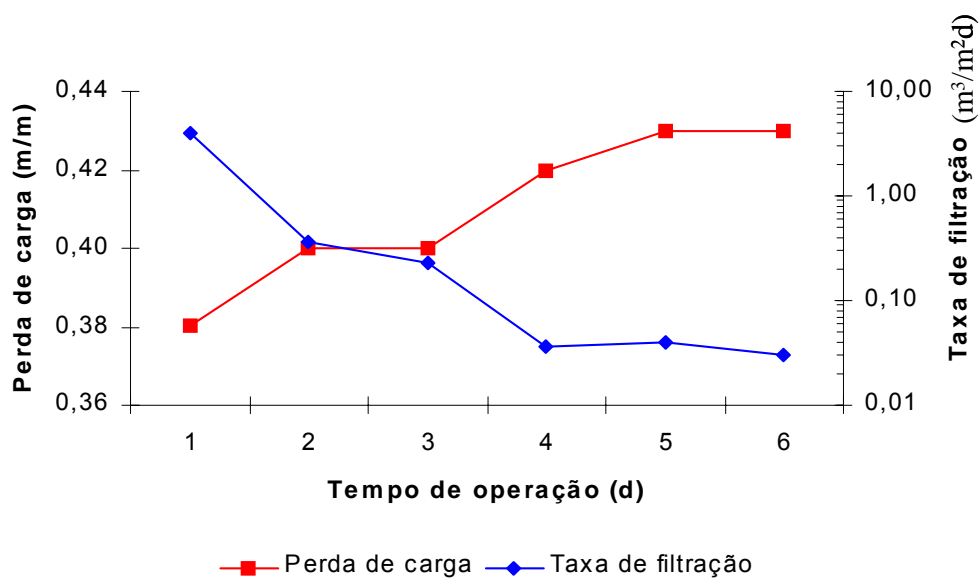


Figura C1.3 Perda de carga e taxa de filtração no trecho 1-2 (coluna 3-primeiro ensaio)

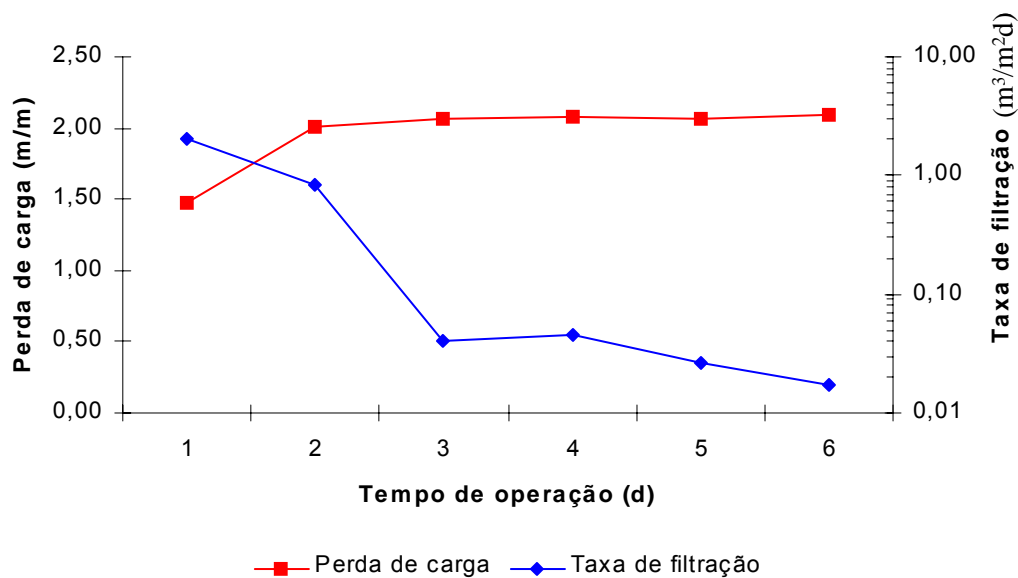


Figura C1.4 Perda de carga e taxa de filtração no trecho 1-2 (coluna 4-primeiro ensaio)

2º ensaio

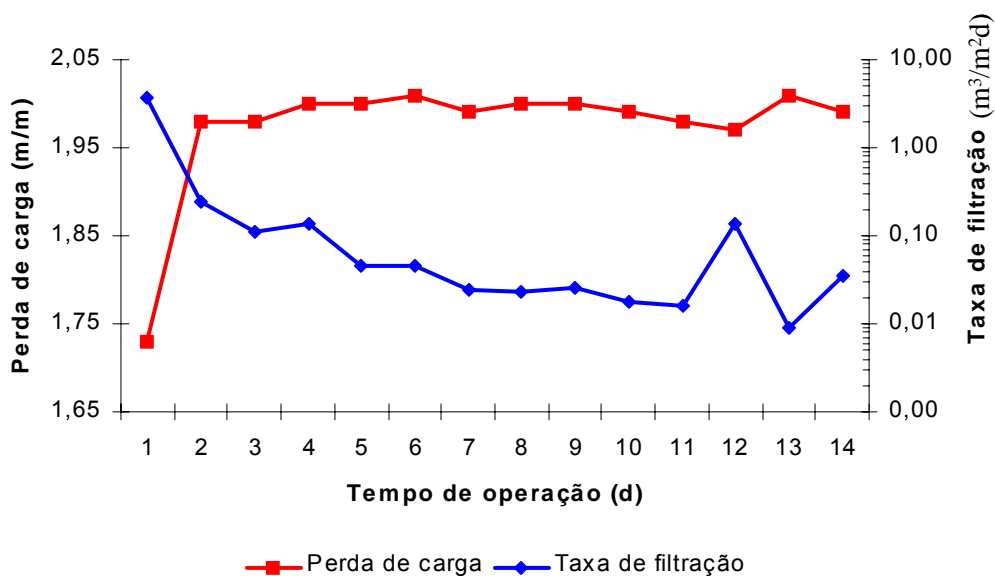


Figura C2.1 Perda de carga e taxa de filtração no trecho 1-2 (coluna 1-segundo ensaio)

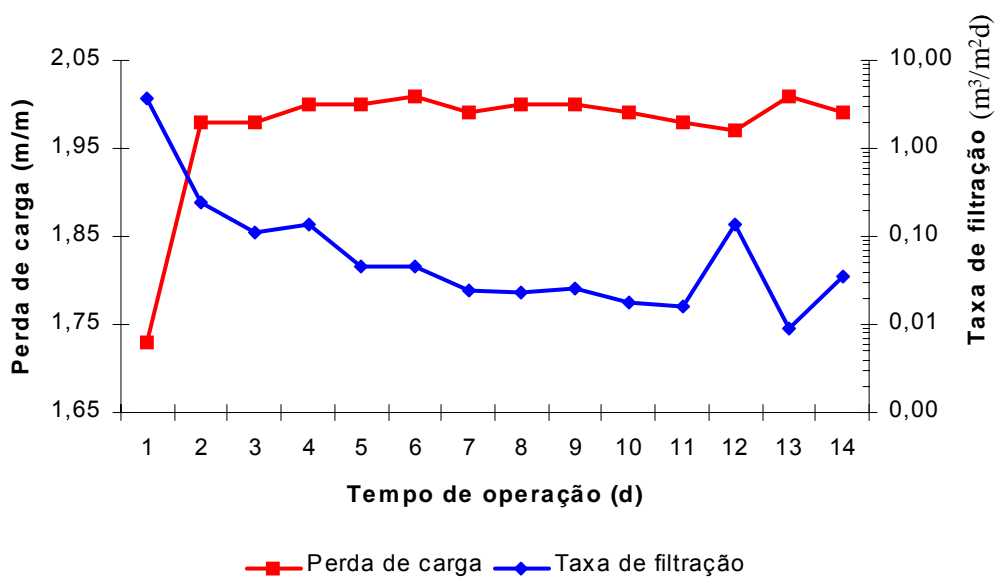


Figura C2.2 Perda de carga e taxa de filtração no trecho 1-2 (coluna 2-segundo ensaio)

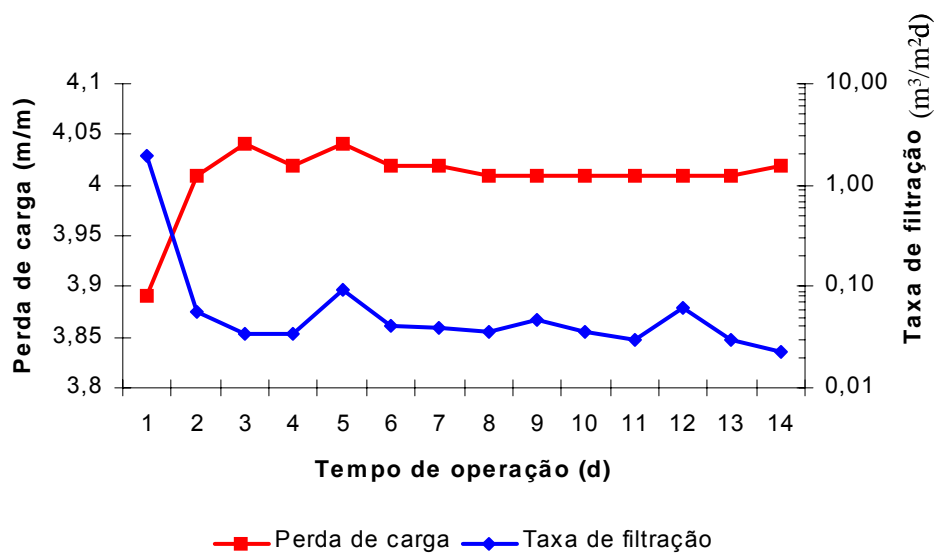


Figura C2.3 Perda de carga e taxa de filtração no trecho 1-2 (coluna 3-segundo ensaio)

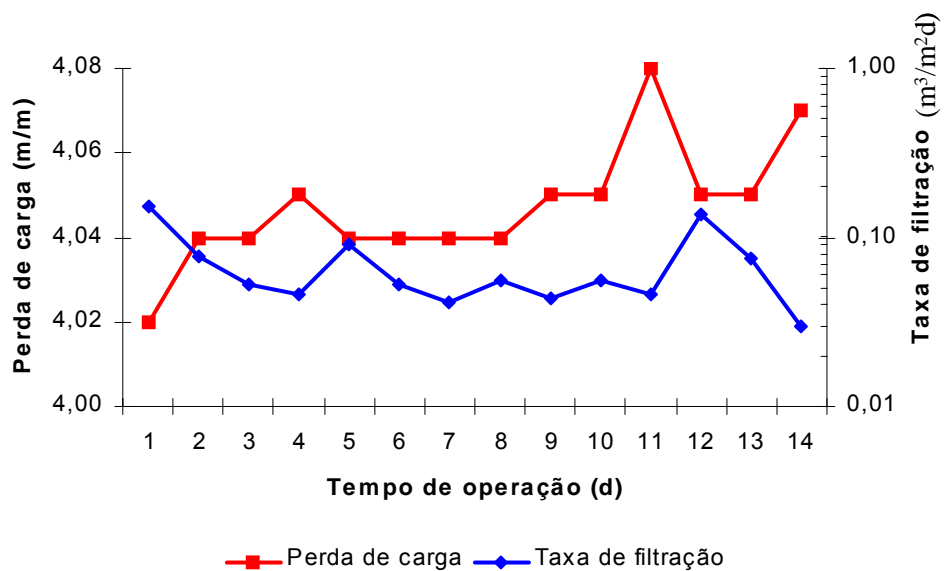


Figura C2.4 Perda de carga e taxa de filtração no trecho 1-2 (coluna 4-segundo ensaio)

3º ensaio

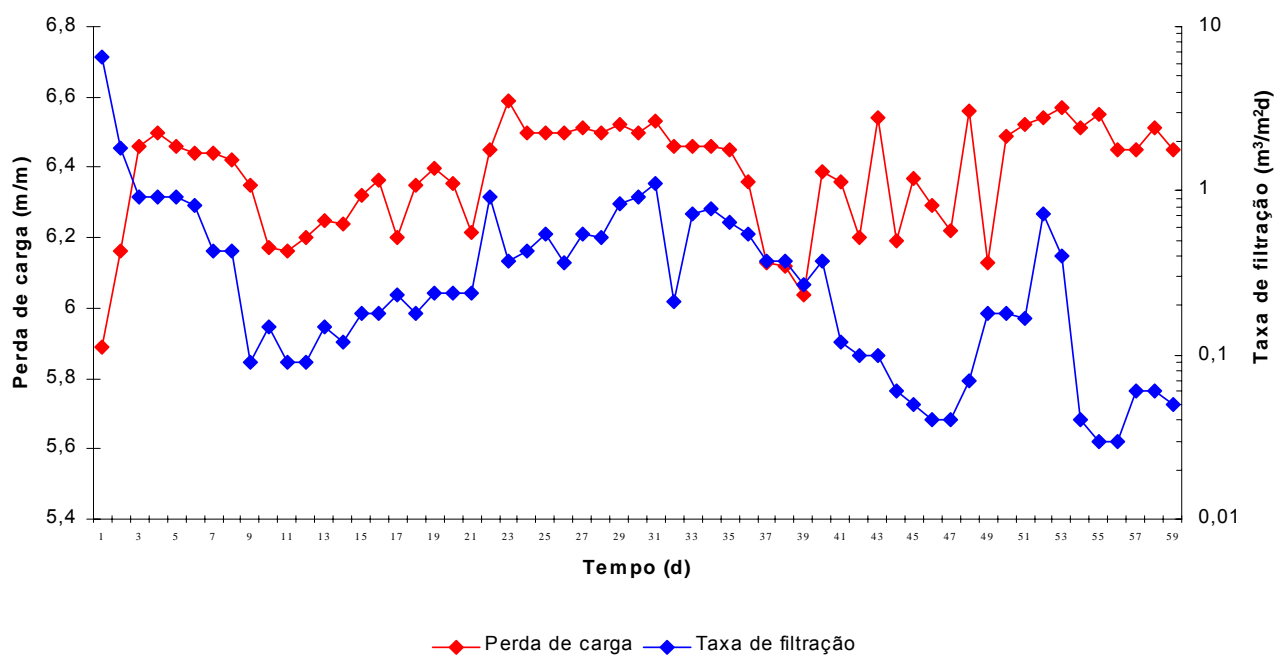


Figura C3.1 Perda de carga e taxa de filtração no trecho 1-2 (coluna 1-terceiro ensaio)

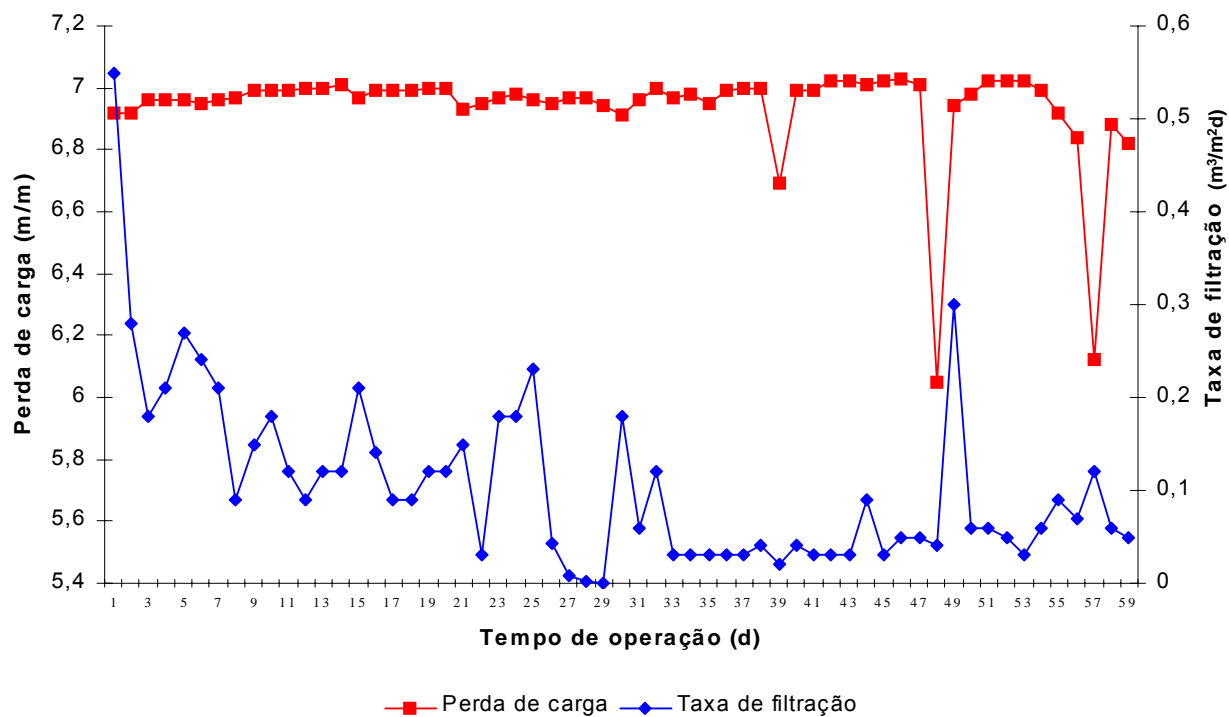


Figura C3.2 Perda de carga e taxa de filtração no trecho 1-2 (coluna 2-terceiro ensaio)

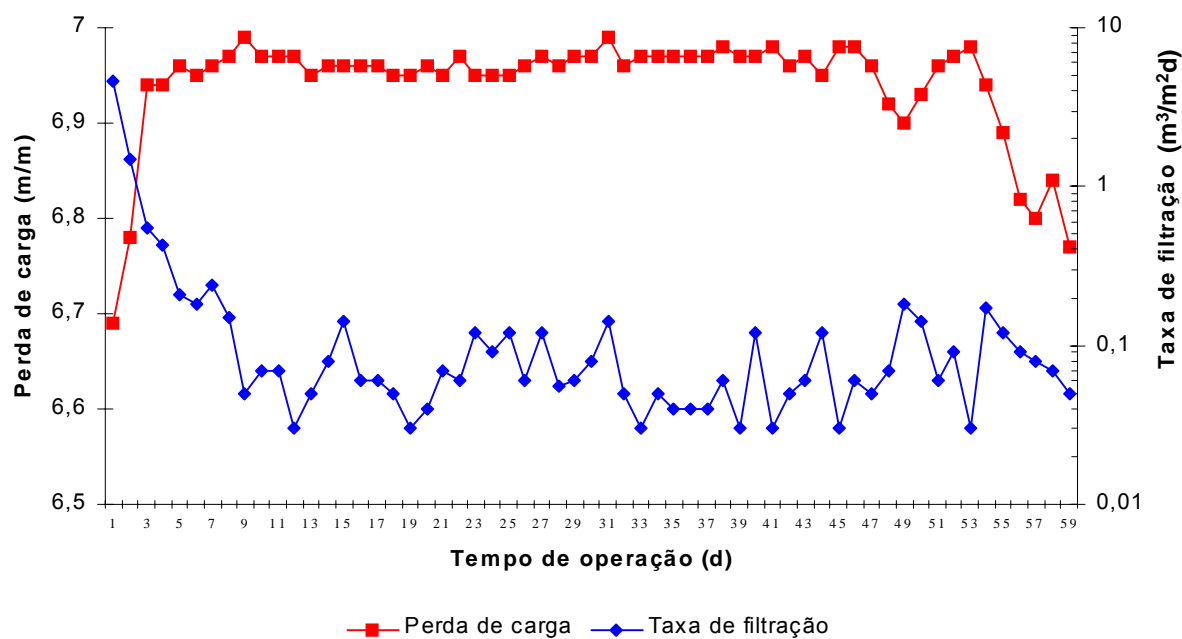


Figura C3.3 Perda de carga e taxa de filtração no trecho 1-2 (coluna 3-terceiro ensaio)

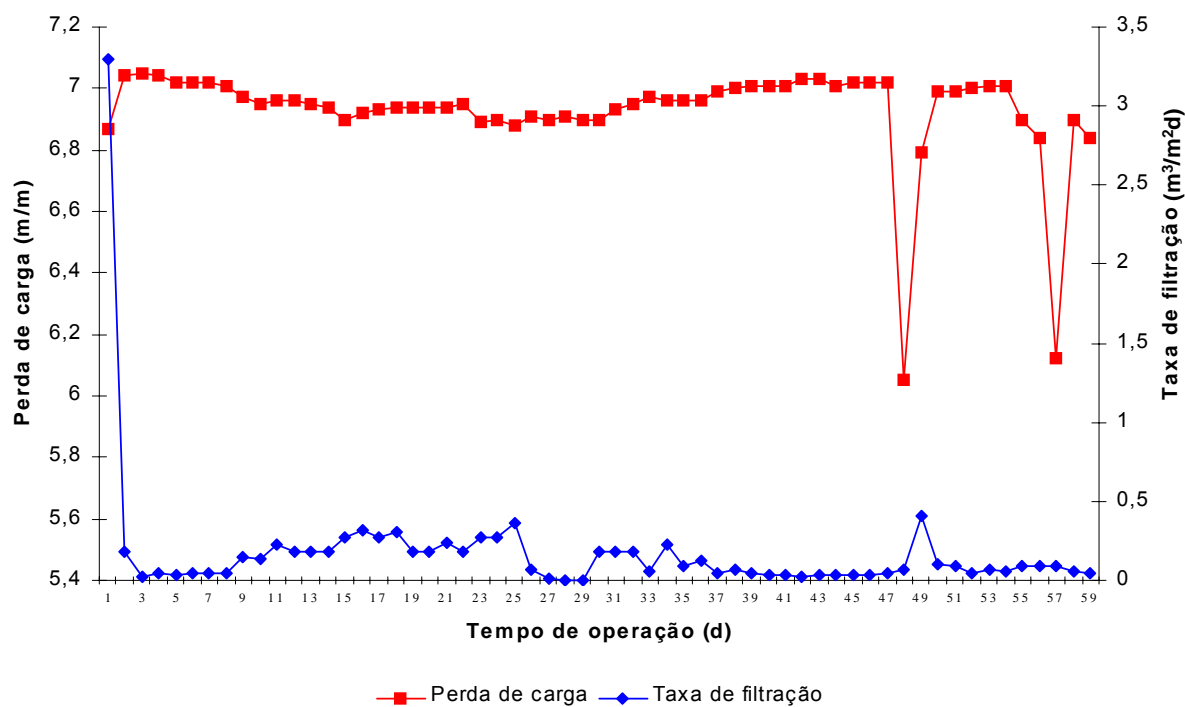


Figura C3.4 Perda de carga e taxa de filtração no trecho 1-2 (coluna 4-terceiro ensaio)

Apêndice D

Taxas de filtração

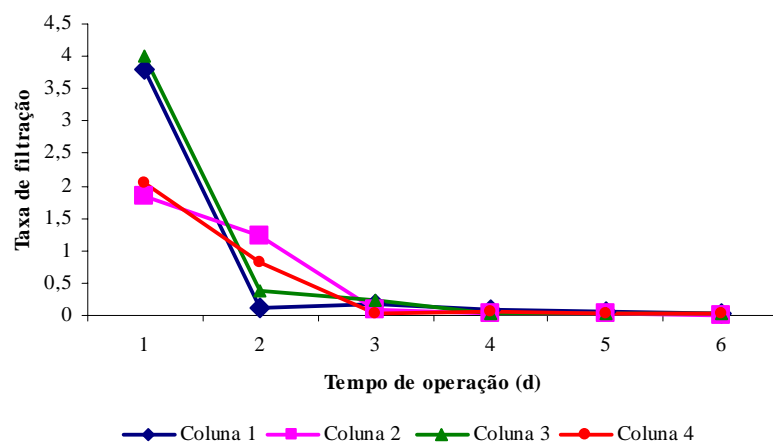


Figura D1 Taxa de filtração no 1º ensaio

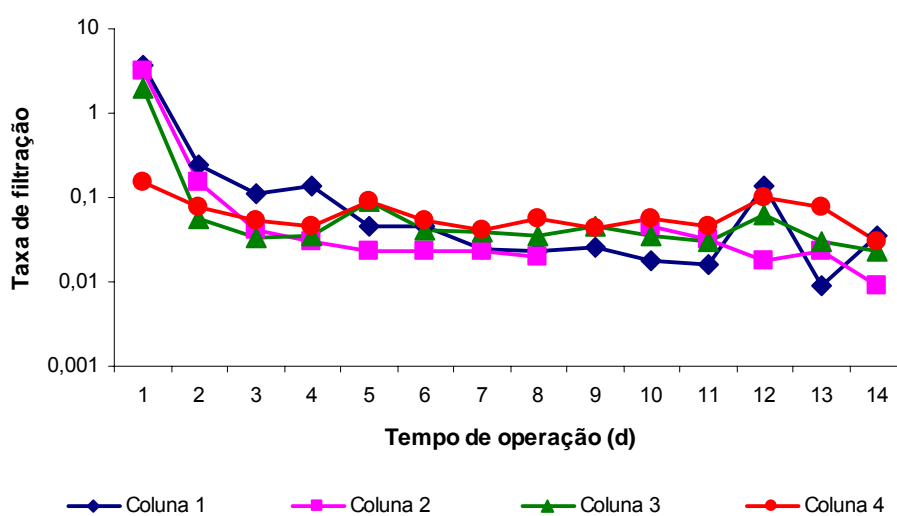


Figura D2 Taxa de filtração no 2º ensaio

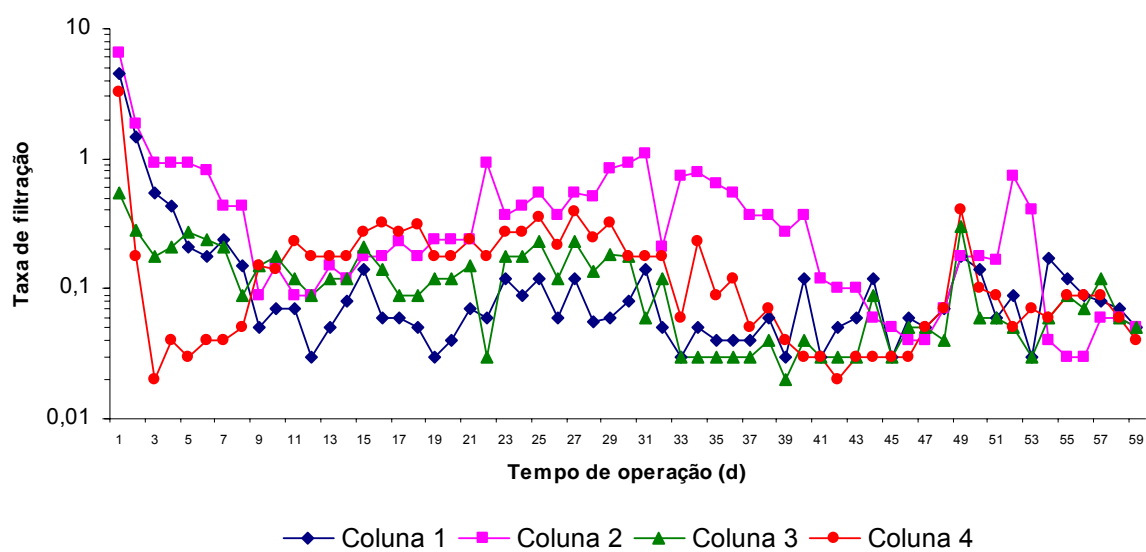


Figura D3 Taxa de filtração no 3º ensaio

Apêndice E
Qualidade da água
(julho a dezembro/2004)

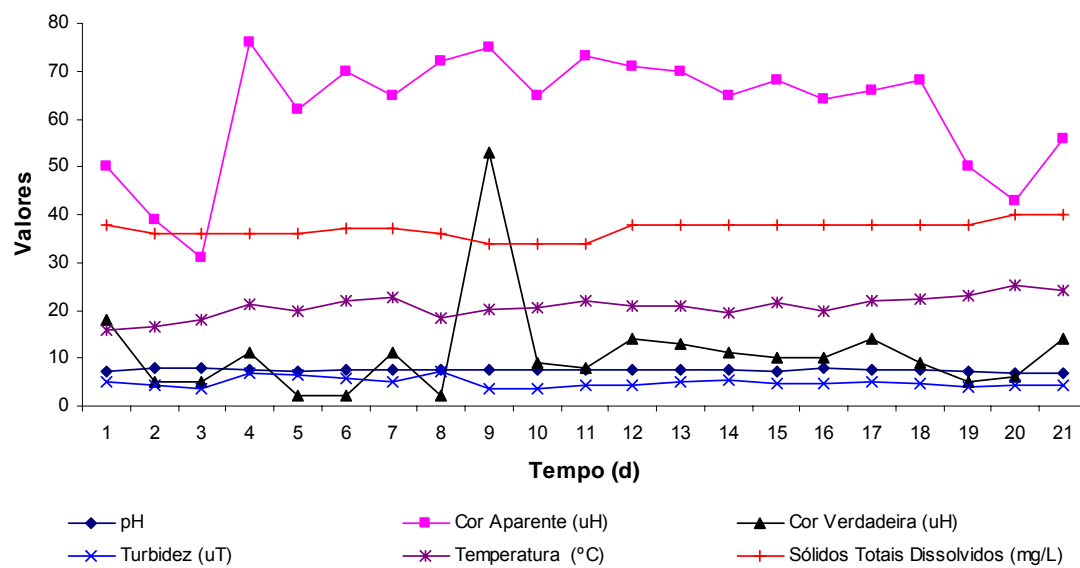


Figura E1 Qualidade da água bruta

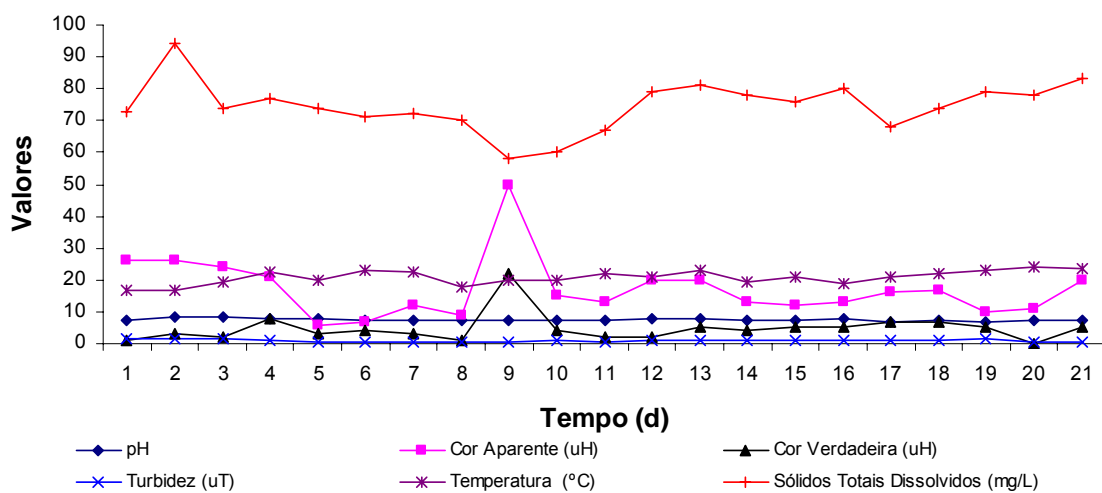


Figura E2 Qualidade da água da coluna 1

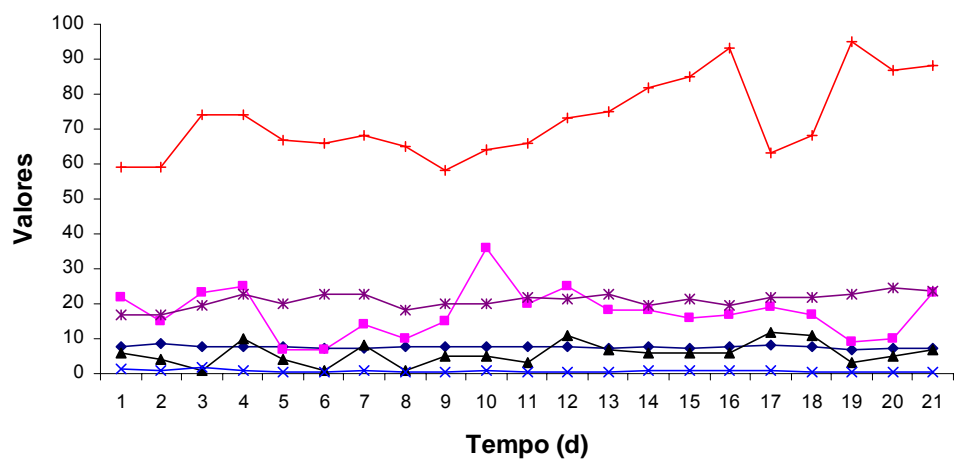


Figura E3 Qualidade da água da coluna 2

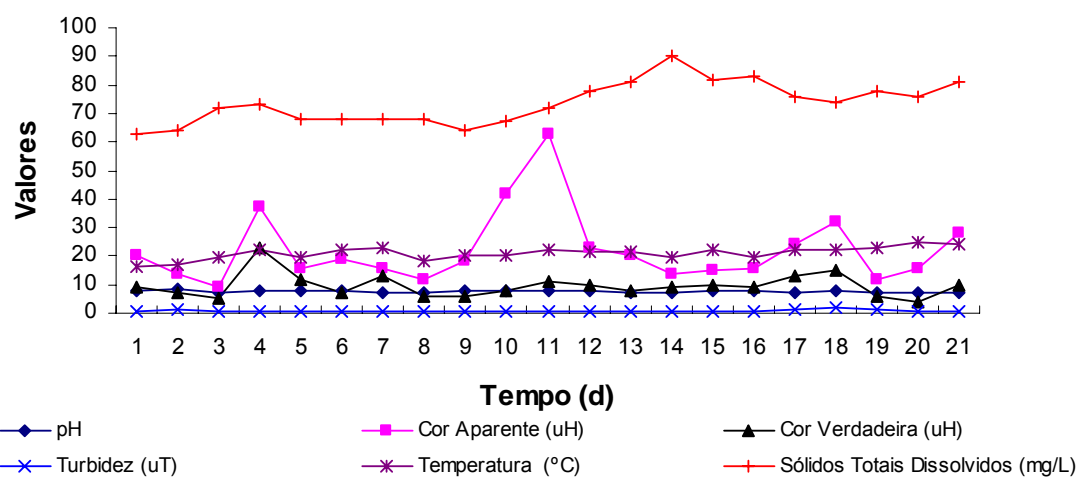


Figura E4 Qualidade da água da coluna 3

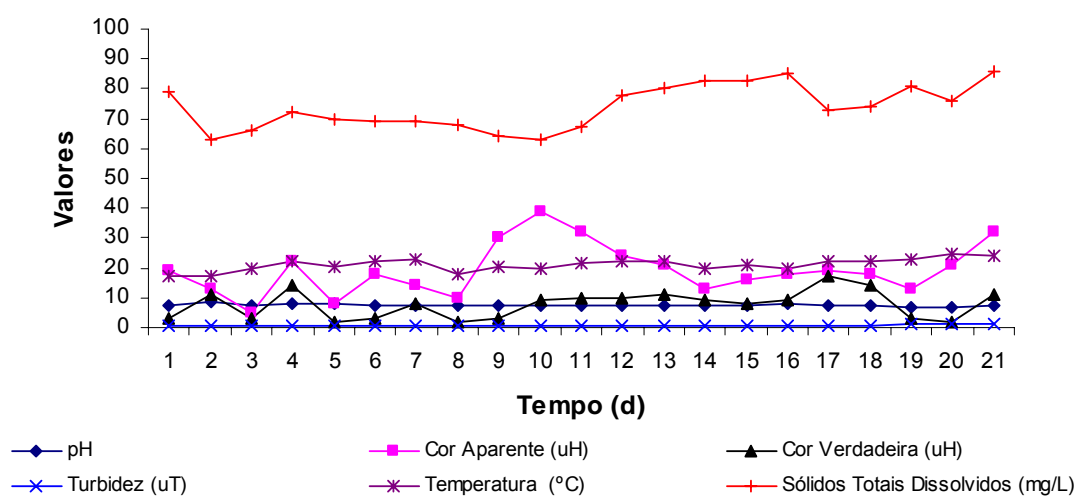


Figura E5 Qualidade da água da coluna 4

ANEXOS

Anexo A

Contagem de fitoplânctons



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
Laboratório de Toxicologia Ambiental
LABTOX



Resultados das Análises de Fitoplâncton: Lagoa do Peri

Solicitante : Laboratório de Potabilização de Água – LAPOÁ

Tabela A1 Contagem de fitoplânctons do mês de agosto/2004

Data	Grupos	Indivíduos/ml				
		<u>Bruta</u>	<u>C1</u>	<u>C2</u>	<u>C3</u>	<u>C4</u>
20/08/2004	<u>Cianobactérias</u>					
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	91250	542	658	507	366
	<i>Planktolyngbya</i> sp					
	<i>Pseudoanabaena</i> sp	3250				
	<u>Diatomáceas</u>					
	<i>Acnantes hungarica</i>	250				
	<i>Encionema mesianum</i>	185				
	<u>Euglenofitas</u>					
	<i>Euglena</i> sp.	-		16	7	
	<u>Dinofitas</u>					
	Peridinóides	280	33	50	36	16
	<u>Clorófitas</u>					
	<i>Actinastrum aciculare</i>	158		8		
	<i>Monoraphidium irregulare</i>	128				
	<i>Monoraphidium</i> sp	180				
	<i>Staurastrum muticum</i>	250				
	<i>Staurastrum</i> sp	-				
	<i>Tetraedron caudatum</i>	250				
	<i>Ulothrix</i> sp	-				
	<i>Chlorella</i> sp	-				
	<u>Ciliados</u>	-	108	58	171	82
	Total de Fitoplâncton	96.181	575	732	550	382

Tabela A2 Contagem de fitoplânctons do mês de setembro/2004

Data	Grupos	Indivíduos/ml				
		<u>Bruta</u>	<u>C1</u>	<u>C2</u>	<u>C3</u>	<u>C4</u>
31/09/2004	<u>Cianobactérias</u>					
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	93270	442	317	232	121
	<i>Planktolynghya</i> sp	-	9			
	<i>Pseudoanabaena</i> sp	6250				16
	<u>Diatomáceas</u>					
	<i>Acnantes hungarica</i>	250		8		
	<i>Encionema mesianum</i>	128				
	<u>Euglenofitas</u>					
	<i>Euglena</i> sp.	-			16	
	<u>Dinofitas</u>					
	Peridinóides	226	17	16	42	50
	<u>Clorófitas</u>					
	<i>Actinastrum aciculare</i>					
	<i>Monoraphidium irregulare</i>					
	<i>Monoraphidium</i> sp	162	25	34	25	
	<i>Staurastrum muticum</i>	380				
	<i>Staurastrum</i> sp	128				
	<i>Tetraedron caudatum</i>	185				
	<i>Ulothrix</i> sp					
	<i>Chlorella</i> sp					16
	<u>Ciliados</u>	-		9		
Total de Fitoplâncton		100.970	493	375	315	203

Tabela A3 Contagem de fitoplânctons do mês de outubro/2004

Data	Grupos	Indivíduos/ml				
		<u>Bruta</u>	<u>C1</u>	<u>C2</u>	<u>C3</u>	<u>C4</u>
20/10/2004	<u>Cianobactérias</u>					
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	17.750	1024	467	384	409
	<i>Planktolynghya</i> sp	9				9
	<i>Pseudoanabaena</i> sp	50	9			
	<u>Diatomáceas</u>					
	<i>Acnantes hungarica</i>	175	16			
	<i>Encionema mesianum</i>					
	<u>Euglenofitas</u>					
	<i>Euglena</i> sp.	17	16	9		
	<u>Dinofitas</u>					
	Peridinóides	25	16	25	9	
	<u>Clorófitas</u>					
	<i>Actinastrum aciculare</i>	9				
	<i>Monoraphidium irregulare</i>					
	<i>Monoraphidium</i> sp	42		16	9	
	<i>Staurastrum muticum</i>	50				
	<i>Staurastrum</i> sp	9				
	<i>Tetraedron caudatum</i>	9				
	<i>Ulothrix</i> sp	84				
	<i>Chlorella</i> sp	50				
	<u>Ciliados</u>	9		16	9	34
	Total de Fitoplâncton	18279	1081	571	402	418

Tabela A4 Contagem de fitoplânctons do mês de novembro/2004

Data	Grupos	Indivíduos/ml				
		<u>Bruta</u>	<u>C1</u>	<u>C2</u>	<u>C3</u>	<u>C4</u>
23/11/2004	<u>Cianobactérias</u>					
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	15.467	1023	750	608	548
	<i>Planktolyngbya</i> sp	42				17
	<i>Pseudoanabaena</i> sp	83				
	<u>Diatomáceas</u>					
	<i>Acnantes hungarica</i>	133	34		9	
	<i>Encionema mesianum</i>	83				
	<u>Euglenofitas</u>					
	<i>Euglena</i> sp.	66				
	<u>Dinofitas</u>					
	Peridinóides	150	16		50	
	<u>Clorófitas</u>					
	<i>Actinastrum aciculare</i>	42				
	<i>Monoraphidium irregulare</i>	222	25		9	
	<i>Monoraphidium</i> sp	126				
	<i>Staurastrum muticum</i>	67				
	<i>Staurastrum</i> sp	33				
	<i>Tetraedron caudatum</i>	9				
	<i>Ulothrix</i> sp	9				
	<i>Chlorella</i> sp	186				
	<u>Ciliados</u>	66	42	25	16	25
	Total de Fitoplâncton	16718	1098	750	676	565

Tabela A4 Contagem de fitoplânctons do mês de dezembro/2004

Data	Grupos	Indivíduos/ml				
		<u>Bruta</u>	<u>C1</u>	<u>C2</u>	<u>C3</u>	<u>C4</u>
08/12/2004	<u>Cianobactérias</u>					
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	18868	866	622	442	500
	<i>Planktolyngbya</i> sp	9				
	<i>Pseudoanabaena</i> sp					
	<i>Diatomáceas</i>					
	<i>Acnantes hungarica</i>	82				16
	<i>Encionema mesianum</i>	50				
	<u>Euglenofitas</u>					
	<i>Euglena</i> sp.	16			17	
	<u>Dinofitas</u>					
	Peridinóides	42	22	9	9	33
	<u>Clorófitas</u>					
	<i>Actinastrum aciculare</i>	8				
	<i>Monoraphidium irregulare</i>	120		42	50	33
	<i>Monoraphidium</i> sp	19				
	<i>Staurastrum muticum</i>	44				
	<i>Staurastrum</i> sp	22				
	<i>Tetraedron caudatum</i>	12				
	<i>Ulothrix</i> sp	32				
	<i>Chlorella</i> sp	83				
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	17				
	<u>Ciliados</u>	38	107	64	133	633
Total de Fitoplâncton		19424	888	673	518	582

Anexo B

Levantamento topográfico da área do experimento na Lagoa do Peri